elektor

audio

special 5

ZELFBOUW VERSTERKERS EN LUIDSPREKERS

€17,50

Zeven versterkers voor zelfbouw o.a.:

- 211 single ended triode versterker
- Gebalanceerde voorversterker
- KR300B buizen stereo eindversterker
- 1 Watt gitaarversterker voor huiskamer

Zeven luidsprekers voor zelfbouw o.a.:

- d'Appolito luidspreker
- Valkuilen scheidingsfilters luidsprekers
- Actieve tweeweg luidspreker
- Micro monitor met pit



Audio Special 5

Een 5-jarig jubileum

Voor u ligt alweer de vijfde Audio Special en dat is toch wel even het vermelden waard. De afgelopen vijf jaar zijn vele honderden pagina's gevuld met zeer uiteenlopende zelfbouwontwerpen. Uiteraard zijn al deze artikelen geschreven voor en door zelfbouwers en professionals, waarvoor de eindredactie en Elektor langs deze weg nogmaals hun waardering willen doen blijken. De bijdragen en inzet van deze zelfbouwers en professionals maakt de Audio Special ieder jaar weer mogelijk en zorgt voor een interessante mix van luidspreker ontwerpen en audio schakelingen met buizen en halfgeleiders.

In dit jubileum nummer vindt u onder andere een artikel waarin eens kritisch gekeken wordt naar de rol van de uitgangstransformator in een buizenversterker. Van deze uitgangstransformator wordt namelijk vaak beweerd dat dit de zwakste schakel zou zijn in een buizen eindversterker, maar is dit feitelijk wel zo? Ook dit jaar een aantal buizen voorversterkers, want uiteraard wil de buizenliefhebber graag z'n buizen eindversterker combineren met een buizenvoorversterker. Eén buizenvoorversterker doet zelfs dienst als actief scheidingsfilter, wat toch wel een zeer unieke benadering is en zeker geen dertien in een dozijn ontwerp.

Ook vinden we in deze vijfde editie een minimalistische gebalanceerde halfgeleider voorversterker terug, geschoeid op dezelfde leest als de ExtremA klasse-A versterker van enige jaren geleden, waar deze voorversterker dan ook prima mee gecombineerd kan worden. Daarnaast een netschakelaar voor audiotoepassingen voorzien van netfilter en eventueel een softstart functie voor zware eindversterkers zodat uw zelfbouw audioapparaat vanaf nu verlost kan worden van de standaard verlichte wipschakelaar. Uiteraard zijn ook de buizen eindversterkers dit jaar weer van de partij, met maar liefst twee ontwerpen voor een single-ended buizeneindversterker waarbij er één in triode is geschakeld en een ontwerp voor een gitaarversterker specifiek voor de huiskamer, met beperkt uitgangsvermogen welteverstaan.

Uiteraard ook dit jaar een aantal luidsprekerontwerpen, onder andere een zeer compact ontwerp voorzien van actieve filtering en correctie door middel van een DSP. Daarnaast een vloerstaander met een meer dan uitstekende prijs/prestatie verhouding en een éénweg luidspreker met voortreffelijke weergavekwaliteiten. Ook dit jaar een aantal compacte boekenplank, c.q. monitor luidsprekers aangezien dit toch de meest populaire categorie luidsprekers blijft. Daar zien we onder andere een ontwerp terug met een driverbezetting volgens het d'Appolito concept en een ontwerp voorzien van een tweetal passieve radiatoren om te assisteren bij de weergave van de onderste oktaven zonder hiervoor extra kastvolume nodig te hebben.

De auteurs van de Audio Special, de eindredactie en Elektor wensen u veel lees-, bouw- en uiteindelijk luisterplezier met deze vijfde Audio Special.

Ir. Sander Sassen
Ir. Menno van der Veen

INHOUDSOPGAVE

VERSTERKERS

LUIDSPREKERS

Classic Three voorversterker

DOOR DICK VAN DE MERWE

De eindversterkers die Dick van der Merwe publiceerde in de afgelopen twee Audio Specials hebben een voorversterker nodig. Een heel goed nabouwbaar ontwerp met hoge kwaliteit wordt deze keer besproken.

Als ik mijn eigen buizenhistorie naloop begint die met een simpel EL84 versterkertje, daarna kwamen de hoger vermogende EL84 en EL34 push pull versterkers, de single ended versterkers met direct verhitte kathodes en verschillende voorversterkers. Ik zat een jaar of tien geleden in een periode waarin zo oud mogelijke buizen de 'Holy Grail' waren, liefst types van ver voor de tweede wereldoorlog. Maar langzaam ben ik daarnaast nieuwere buistypes ook steeds weer meer gaan waarderen. Met name toen de Perestrojka de Russische markt openbrak bleek al snel dat er in de voorheen zo ontoegankelijke voormalige Sovjet Unie erg mooie buisjes gemaakt zijn en nóg steeds worden geproduceerd. Vaak tegenhangers van vele westerse buistypes, maar ook unieke ontwerpen als de ongekend mooie 6N30P. Een paar jaar geleden ontdekte ik een erg verwant broertje van de laatstgenoemde: de 6N6 (6H6 in het Cyrillisch schrift). Niet te verwarren met de USA 6N6, dat een geheel andere buis is. Nieuwsgierig geworden kocht ik er een aantal via Ebay in de Oekraïne. De 6N6 was nog beter dan ik had gehoopt. Je snapt dat er snel een tweede bestelling geplaatst werd. De tijd dat de 6N6 ronduit belachelijk goedkoop, minder dan een euro per stuk, wordt aangeboden is nu wel geweest merk ik, maar ze zijn nog steeds heel betaalbaar. De 6N6 mag je als de tegenhanger van de hier bekendere E182CC, 12BH7 of de latere ECC99 zien. Elektrisch zijn de specs nagenoeg gelijk, maar ze hebben ieder wel hun eigen klankkarakter. De veel gebruikte ECC99 van JJ heeft bijvoorbeeld een zijdezachte klank, soms zelfs té, waar de 6N6 een vollere krachtiger inborst laat horen. Het leek vanaf het begin een strak plan om deze buis in de Classic Three te gebruiken.

De Classic One voorversterker, die ik een paar jaar geleden heb gebouwd, is uitgevoerd in dubbel mono, met een uitgebreide op afstand bedienbare volumregeling/ ingangskeuze. De Classic Two is de eindversterker die twee jaar geleden in dit blad is beschreven. De 'Three' is een op de schakeling van de 'One' geïnspireerde voorversterker. Maar dan meer terug naar de basis. Wat dat betreft is de Three meer 'Classic' dan zijn oudere broer.

Oorzaak en gevolg

Vier jaar geleden had ik een peperdure voorversterker te logeren waarvan de opvallend goede geluidskwaliteit me al snel inspireerde om de binnenkant eens goed te bekijken om te zien wat er nu zo speciaal aan was. Naast de nette bouw waren er 'slechts' twee klassieke schakelprincipes te vinden, in een combi die ik zelf nog niet eerder uitgeprobeerd had. Het gaat om een gebufferde SRPP. Een standaard SRPP direct gekoppeld, dus zonder koppelcondensator, met een kathodevolgerbuffer. De SRPP uitgang ziet daardoor altijd de extreem hoge ingangsweerstand van de kathodevolger en hoeft alleen maar voor de spanningversterking te zorgen. Mijn eigen ervaringen waren tot dan nooit echt overweldigend met deze in Japan zo populaire schakeling. Ik heb ze in allerlei variaties gebouwd, maar ging er nooit echt

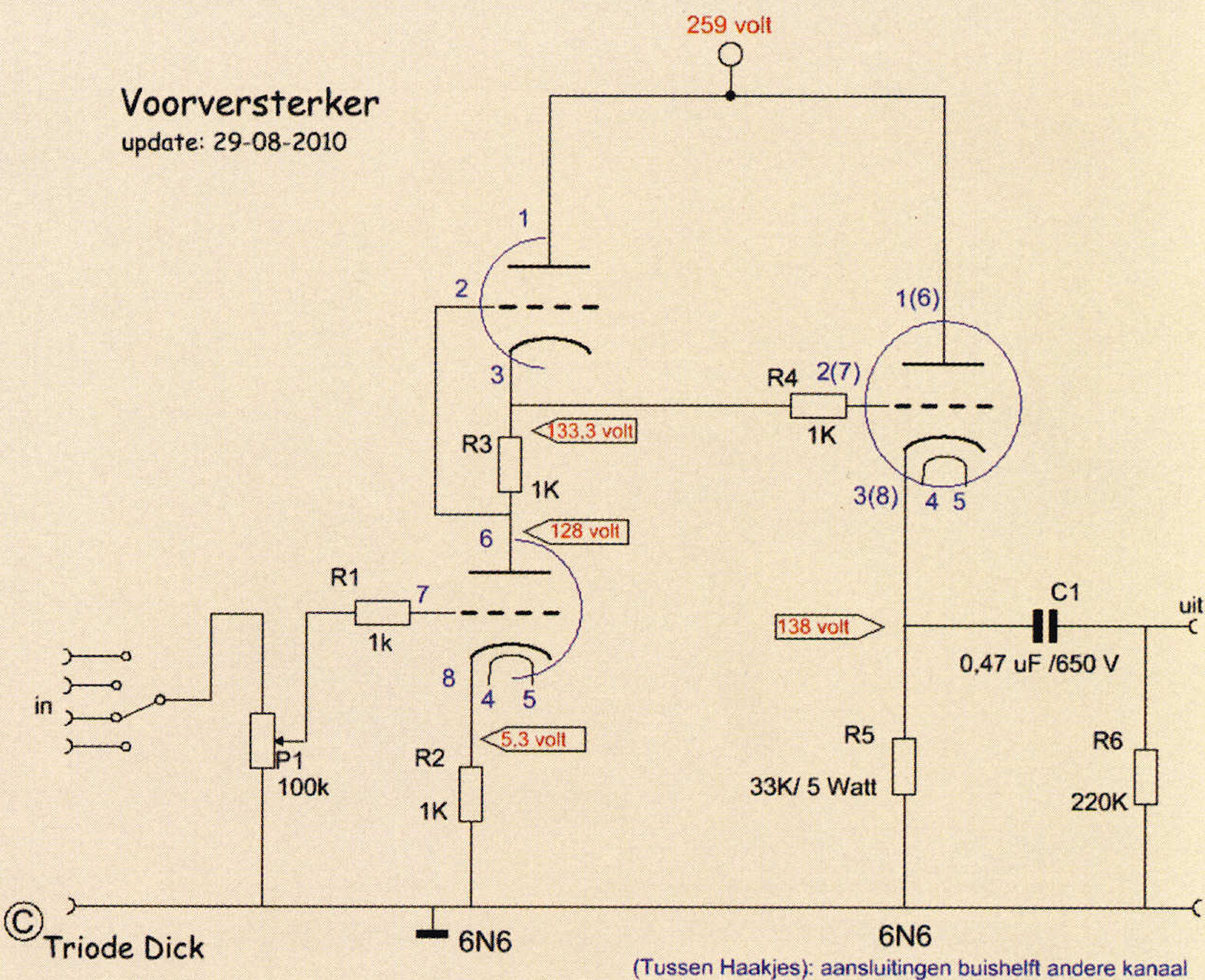
van uit mijn dak. Kathodevolgers hebben in andere kringen een zozo reputatie. Soms moet een mens even weer getriggerd worden en ik ben maar eens aan de slag gegaan met een opzetje. En ik kan niet anders zeggen dat dit voor mij een 'ei van columbus' is geworden. Let op het 'een' woord, er staat niet 'hét'. Er zijn nog steeds vele wegen die leiden naar het AudioRome. Maar dit blijkt wel een mooi geplaveide. Met heel mooi marmer wat mij betreft.

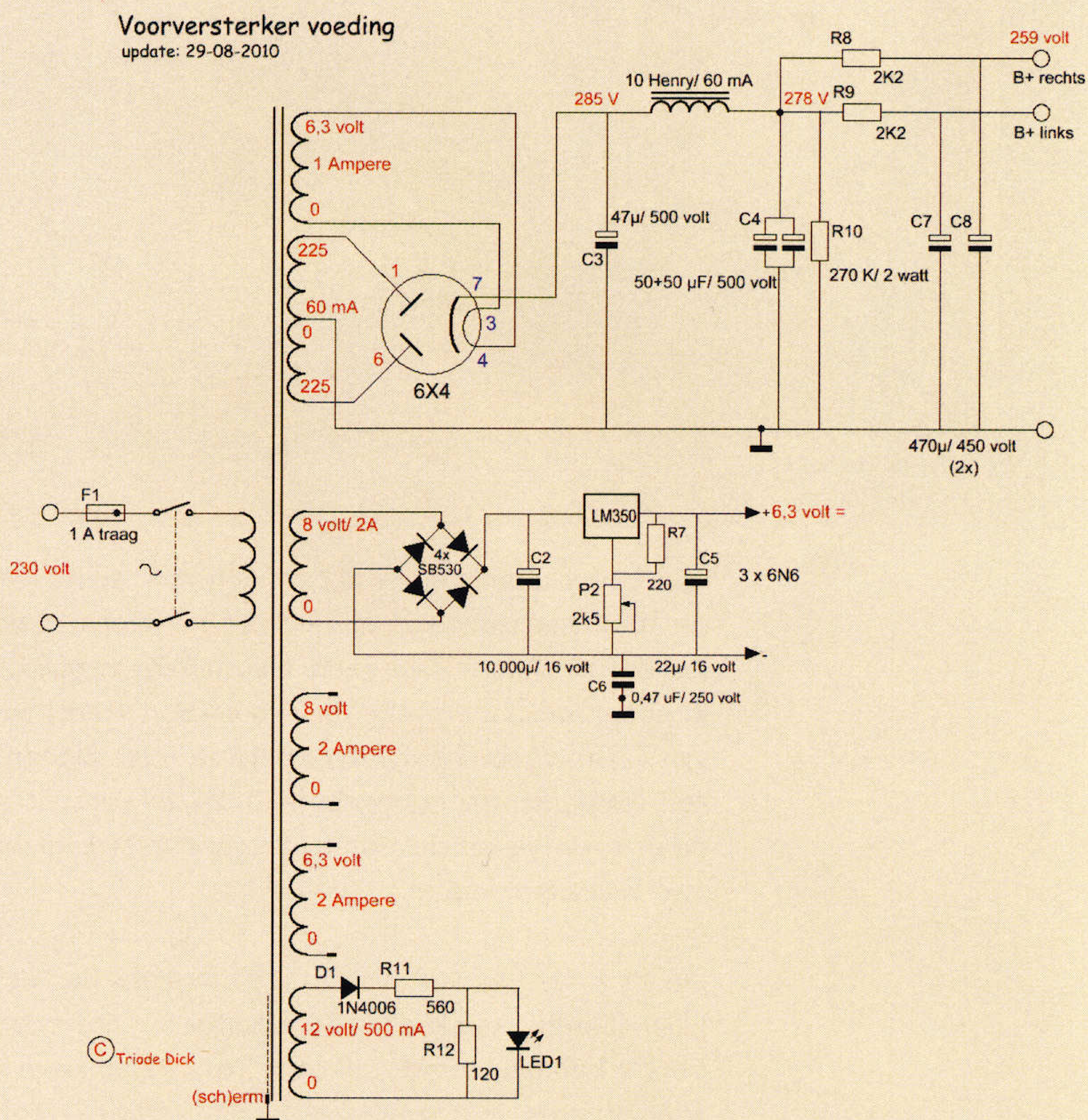
Er zijn maar weinig buizenschakelingen waar zo veel discussies over worden gevoerd dan de SRPP. Sommigen zeggen dat je de SRPP zo hard moet belasten, de zweep moet er over, dat de onderste en bovenste buis daadwerkelijk in push pull gaan werken. Waar komt anders de 'PP' vandaan. De vervorming zou daar ook het laagste mogelijk zijn. Deze applicatie heeft in mijn oren slechts één pijnpunt: het klinkt onaangenaam, geforceerd en afgeknepen. Zelfs met 50 of 100 kOhm belasting vind ik de SRPP niet je van het waar het op geluidskwaliteit aankomt. De schakeling krijgt vaak een bepaald klankkarakter dat je mooi of minder mooi vind. Maar de SRPP relaxt op zijn rug in het gras op een zonnige voorjaarsdag, zoals in deze gebufferde schakeling het geval is, dat blijkt toch andere koek. Er vind een klik plaats die de som van SRPP en de direct gekoppelde kathodevolger veel sterker maakt dan beide delen op zichzelf lijken te zijn.

De Classic Three

Even de schakeling van begin tot eind doorlopen, zie figuur 1. Na de ingangbussen en keuzeschakelaar passeert het muzieksignaal de volumeregelaar. De loper daarvan gaat via een stopweerstand naar het stuurrooster van de onderste buis van de SRPP. Tussen de uitgang van de SRPP trap en ingang van kathodevolgerbuffer is ook een stopweerstand gebruikt om eventuele hoogfrequent oscillatie te voorkomen, omdat de kathodevolger van nature een erg ruim frequentiebereik heeft. Soldeer stopweerstanden wel zo dicht mogelijk tegen de bewuste aansluiting op de buishouder waar het signaal binnen komt. In de uitgang is de enige condensator in de schakeling te vinden. Over de grootte daarvan lees je meer in het meetrapport.

De voeding is recht toe recht aan, zie figuur 2. Experimenten met geregelde voedingen hebben het bij mij tot nu toe steeds afgelegd tegen de klassieke opzet. Meettechnisch is er misschien winst mee te halen, klankmatig kom ik steeds weer terug bij de 'ruwe' CLC, in dit geval CLCRC opzet. De voeding zit keihard in de signaalweg en is daardoor mede klankbepalend. Gebruik je daar ook nog eens spanningregulering met solid state componenten .... tja.... Na de voedingtrafo wordt de gelijkrichting door een 6X4 diodebuisje gedaan. De eerste condensator daarachter is 47 uF. De 10 Henry smoorspoel met achterliggende 100 uF capaciteit maakt de voedinglijn verder schoon. Hierna wordt de voeding opgesplitst met een RC ontkoppeling met een 2K2 weerstand en 470 uF elco per kanaal.





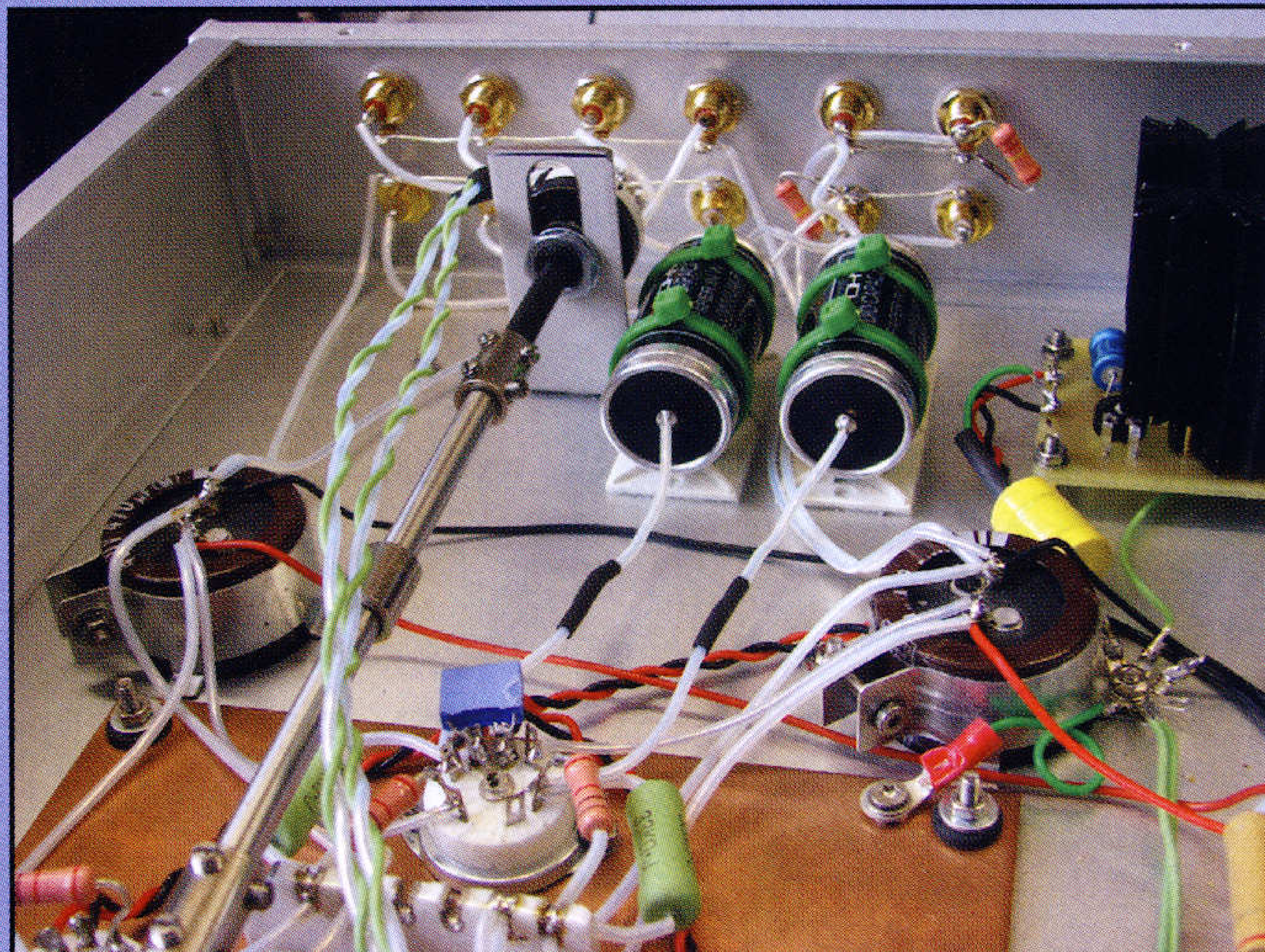
Figuur 1.
Schema van de Classic Three

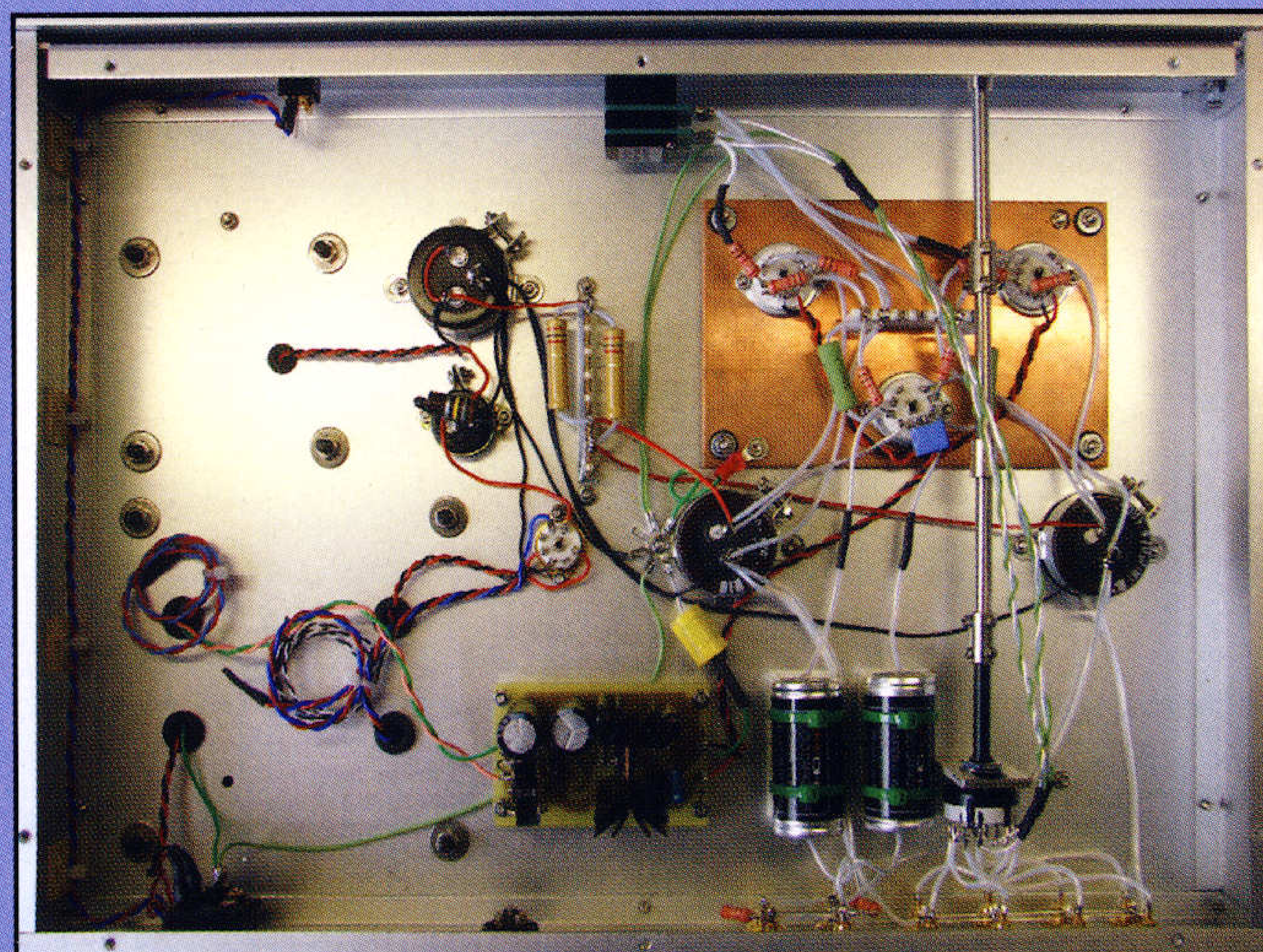
Figuur 2.
Voeding van de classic Three

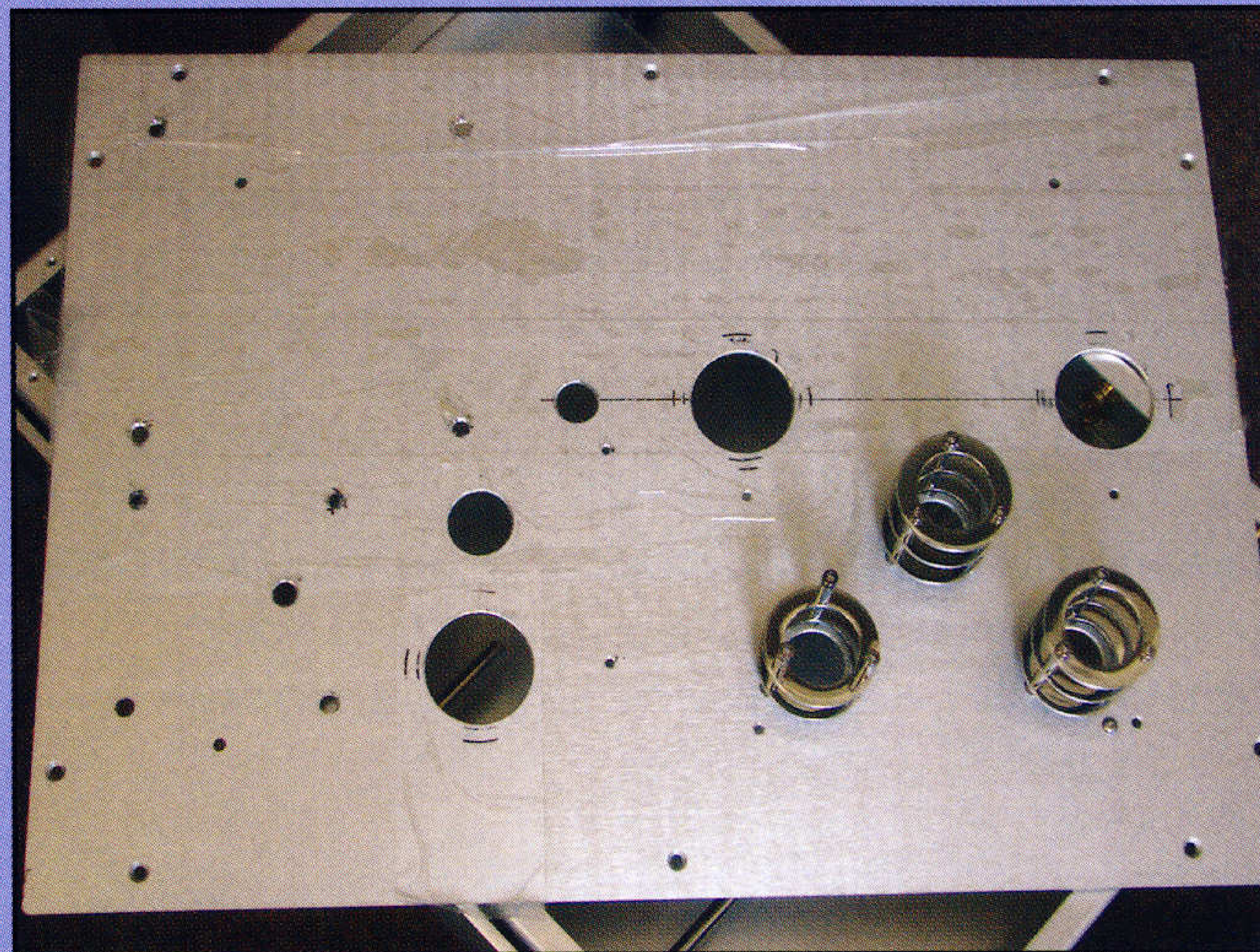
Onderdelenkeus

Een doorgewinterde zelfbouwer van audio-elektronica weet dat de gebruikte componenten ieders hun eigen klankeigenschappen toevoegen. Dat valt nog meer op als er maar zo weinig componenten nodig zijn in een versterkerschakeling als in buisversterkers. Op lijnniveau drie, vier versterkertrapjes van ingang tot luidspreker, met vaak maar een gering aantal weerstanden en condensatoren er omheen. Dan hoor je het vaak meteen als er één of meer onderdelen vervangen worden door andere types. Tot aan de simpele weerstanden toe kan dan verschillen opleveren. Metaalfilmweerstanden bij-









voorbeeld kunnen nog wel eens een wat harder karakter toevoegen waar de oude carbon composiet weerstand een rondere klank geeft. Gebruik die mogelijkheid. Ik heb in dit ontwerp de nieuwe carbon weerstanden van Takman gebruikt. Dit type heeft in korte tijd terecht een goede reputatie opgebouwd. En ze zijn niet eens duur, zoals veel exclusieve audio gerelateerde elektronische componenten.

De afvlak en bufferelco's van JJ Electronics en Nippon Chemicon zijn van goede hedendaagse kwaliteitproductie. De laatstgenoemde bekende bruine elco zie je, niet zonder reden, met regelmaat in tal van fabrieksversterkers, tot in de meest kostbare toe. De uitgangscondensator die je op de foto's ziet is een AmpOhm 'paper in wax' type. Bijenwas condensatoren zag je vroeger veel in oude radio's en versterkers maar worden anno 2010 ook weer geproduceerd. Vergeleken met bijvoorbeeld een gemiddelde papier in olie condensator heeft deze een iets directer klankkarakter en is mooi transparant zonder een spoor van versmering. Maar experimenteer hier gerust met je eigen favoriete condensatortypes. Voor de volumeregeling heb ik een TKD regelaar ingezet. Niet de aller-goedkoopste, maar ik vind het zelf klankmatig al jaren één van de allermooiste volumeregelaars verkrijgbaar, ongeacht het principe. De bekende blauwe Alps pot is een redelijk alternatief als je een voordelige maar nog steeds prima volumepotmeter wilt.

De voedingtrafo en smoorspoel zijn custom made voor dit project. Met het vermogen van de trafo en de daarop aanwezige spanningtaps is al rekening gehouden met het voeden van phonoversterkermodule die via een kabel met de Classic Three kan worden verbonden. De drie versterkerbuisjes worden met gelijkspanning gevoed. Een 8 V tap op de trafo wordt gelijkgericht en met een instelbare LM350 spanningregelaar gestabiliseerd. Vergeet vooral de condensator van de 'voedingmin' naar massa niet.

Praktische uitvoering

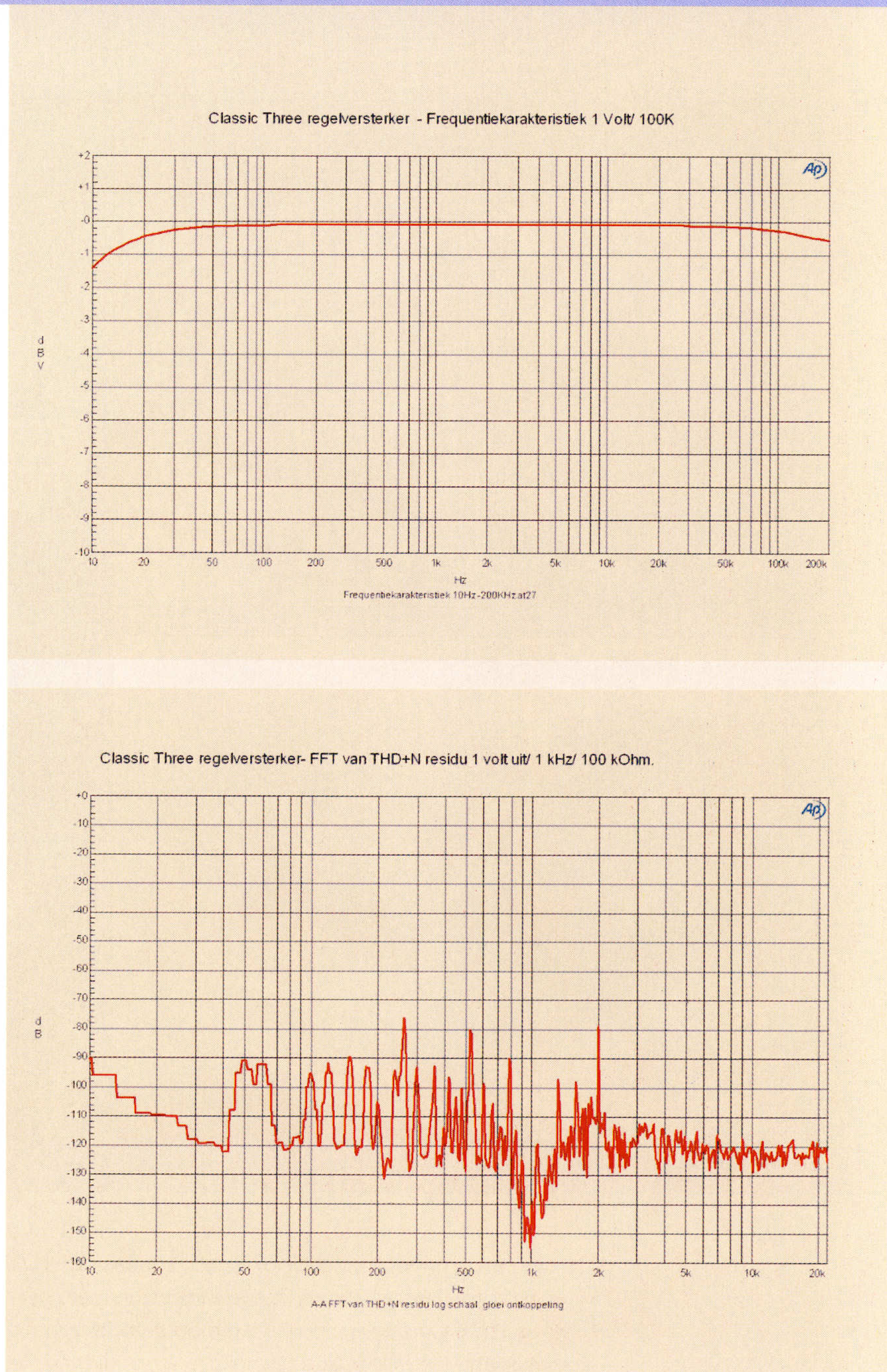
Zoals altijd, zelfs als een nette kant en klare aluminium kast wordt aangeschaft begint het met een portie 'boren, hakken en zagen'. Maar voor hamer, boor en beitel er bij gehaald worden: zet eerst de hele behuizing los-vast in elkaar zodat de platen enigszins beweegbaar blijven. Daarna pas alle verzonken boutjes echt aandraaien. Doe je dat niet dan krijg je door mechanische spanningen gaten die niet recht boven de schroefdraad uitkomen bij de laatste delen. Nu kun je gerust plaat voor plaat weer los schroeven, bewerken en terugplaatsen. Als de indeling van de kast bepaald is door een beetje schuiven met de trafo's en andere onderdelen op het chassis, alles is afgetekend met potlood, dan worden alle gaten voorgeboord met een 3 mm boor. Denk er om dat de vastgeschroefde frontplaat en achterliggende

chassisplaat in een keer doorboort worden, anders zijn de gaten later niet gemakkelijk meer in één lijn te krijgen. De grote gaten voor de buizen en voedingelco's worden met behulp van trekponsen in het chassis gemaakt. 21,5 mm voor de noval buisjes en 37 mm voor de elco's. Dat lijkt erger dan het is, de pons gaat als door boter in het prettig te bewerken aluminium. Het gat voor de IEC lichtnet-entré bijvoorbeeld is beduidend meer werk met gaten rondom boren en netjes uitvijlen. De aanschaf van ponsen kan een struikelblok vormen met enkele tientjes per stuk. Als je meer zelfbouwprojecten in de planning hebt is het een goede investering maar als het om een eenmalig project gaat kun je misschien beter even informeren bij een plaatselijke plaatbewerkbedrijf. Plak de boel voor het daadwerkelijk doortrekken van de pons af met breed plakband om beschadigen te voorkomen en verwijder de tape onmiddellijk weer als de gaten in de plaat zitten. Het spul gaat steeds vaster zitten.

De drie 6N6 buizen hebben een eigen subchassis van 2 mm dik koperplaat gekregen. Het lijkt niet alleen mooi dat de buizen door het chassis steken, en er niet op staan, het in rubbertules mechanisch ontkoppelde subchassis zorgt dat trillingen van buitenaf verder teruggedrongen worden. De 6N6 is overigens geen overgevoelig type buis voor microfonie. De stoer uitziende tubeprotectors heb ik via Ebay gekocht. Ziet er leuk uit, en ze schermen de buisjes goed af. Om de buizen uit de buishouders te kunnen halen moet de bovenste ring er af worden geschroefd.
Als alle gaten in het chassis zijn aangebracht komt het mooie opbouwende werk er aan en begint het met het uur meer op een versterker te lijken. Dit inspirerende werk moet wel met zorg gebeuren. De elco's moeten netjes centraal in de gaten staan, de trafo's haaks op het chassis en de buisprotectors tonen echt niet als ze er als de toren van Pisa bij staan. Neem de tijd hiervoor. Een ledje op het front is wel aardig, maar het moet geen irritante priemende koplamp worden. Ik wilde hem subtiel laten oplichten. De blauwe (hoe trendy) LED is via een simpel netwerkje van een diode en twee weerstanden op de 12 V wikkeling van de trafo aangesloten.

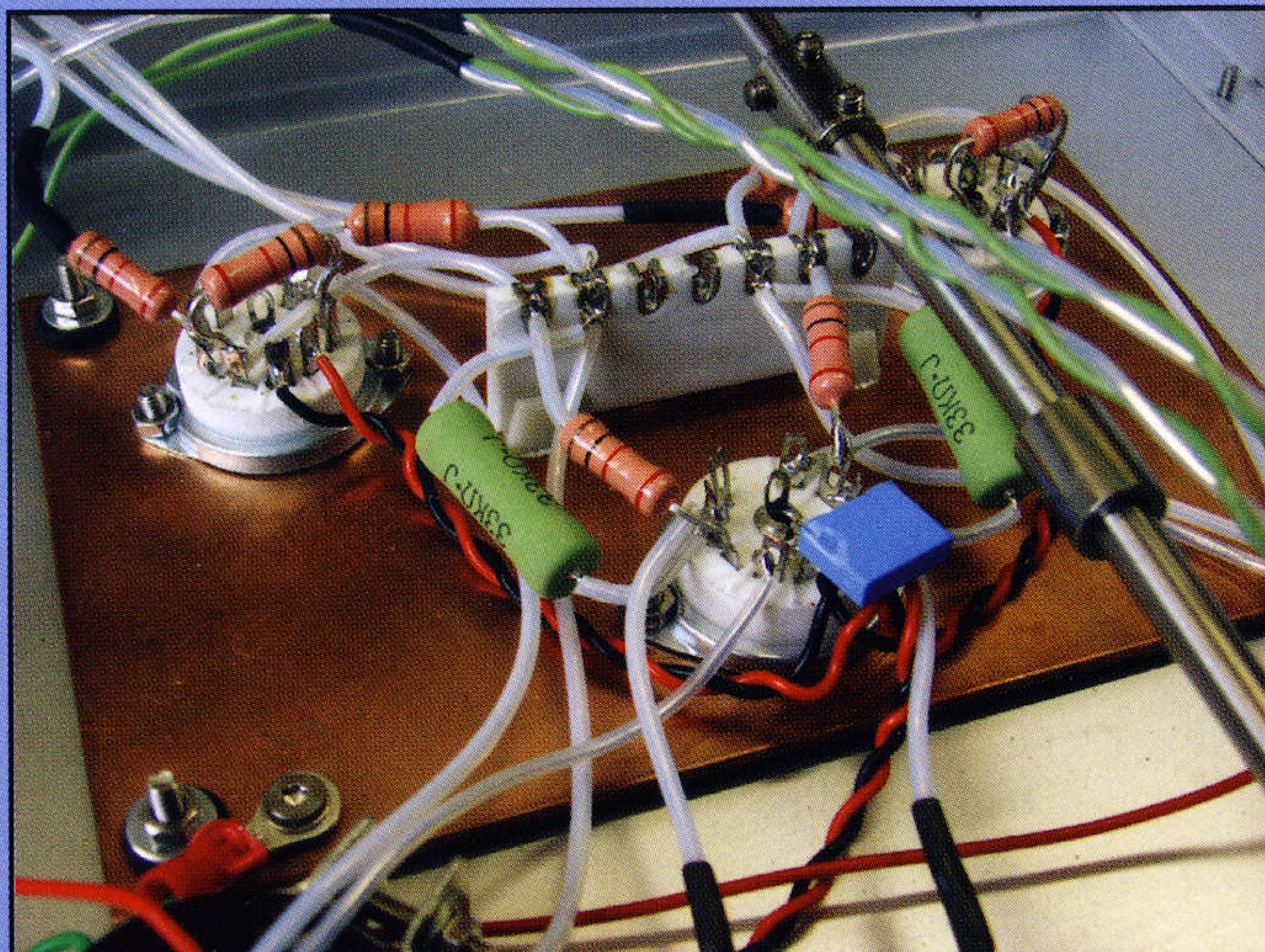
Meten

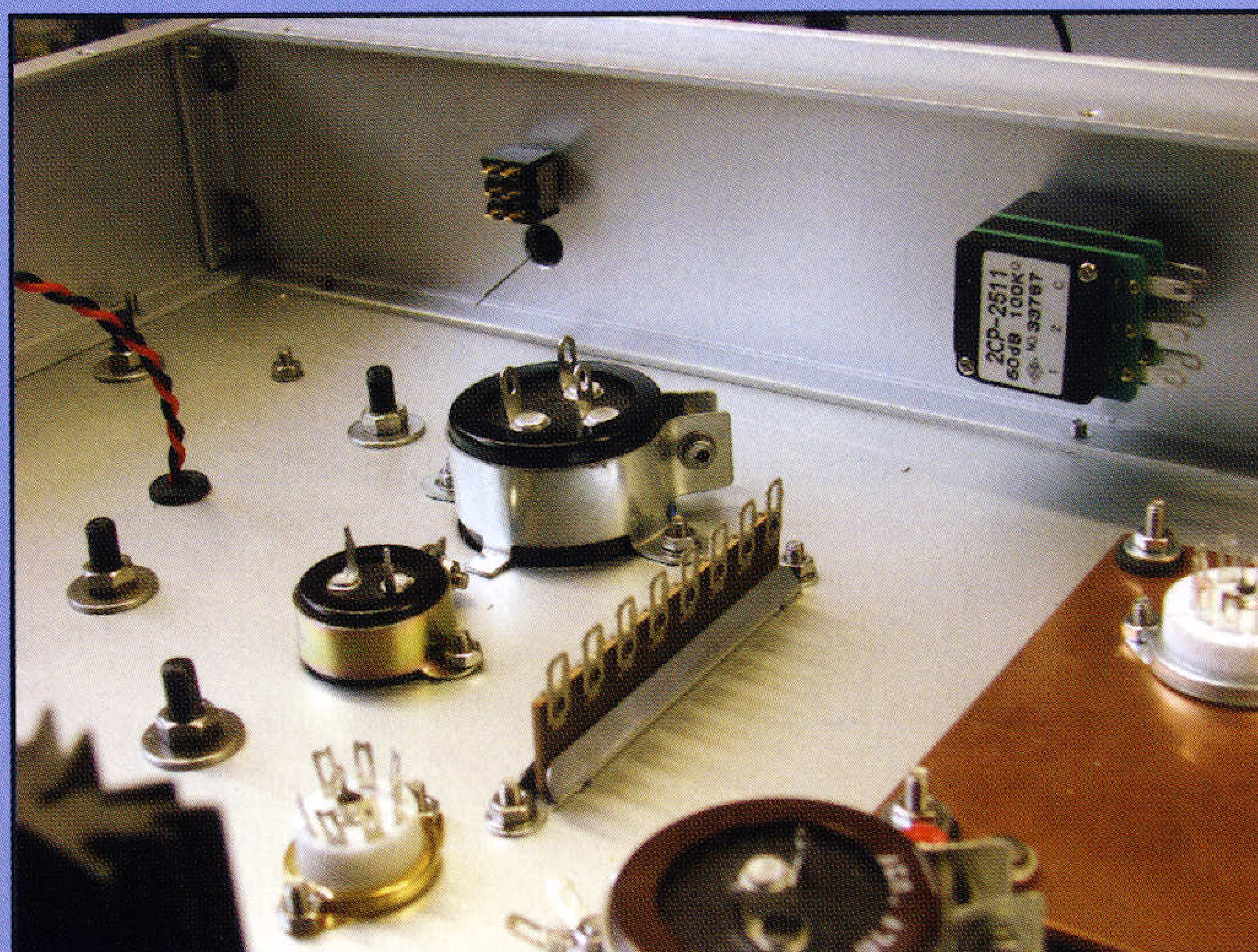
De frequentiekarakteristiek van de schakeling laat bij zowel 20 Hz en 200 kHz een afval van 0,2 dB zien; zie figuur 3. De versterkingfactor is een praktische 7x ofwel 17 dB. De vervorming is laag voor een non-feedback schakeling: 0,037% bij 1 volt aan de uitgang, gewogen gemeten zelfs maar: 0,016%. Bij 5 volt aan de uitgang vind ik een THD+n van 0,057%. Zie voor meer details figuur 4. De maximale uitgangspanning is typisch voor een buisvoorversterker. Bij 1% THD+n staat er maar liefst ruim 57 V op de uitgang, met een 100 kOhm belasting op de cinch-aansluitingen. Zie figuur 6. De uitgangsimpedantie meet 750 Ohm. Hierbij moet wel aangemerkt worden dat de uitgangscondensator de grootte daarvan gaat bepalen naar de laagste frequenties toe. Dit gegeven is belangrijk als er bijvoorbeeld een eindversterker wordt aangesloten met een 10 kOhm ingangsweerstand. Zorg in dat geval wel dat de capaciteit van de uitgangscondensator hoog genoeg is om geen voortijdig afvallend laag te krijgen. Ik zou in dat geval minimaal 2,2 uF gebruiken. Eindversterkers met buizen gebruiken in de regel vaker waardes die rond 100 kOhm bewegen, dan kun je nog gerust een condensator van 0,22 of 0,47 uF gebruiken. Kun je voor hetzelfde geld een betere kwaliteit uitkiezen. Het FFT plaatje laat zien dat de THD+n (de totale harmonische vervorming plus ruis en brom, de 'n' staat voor 'noise') voor het leeuwendeel op het conto van de tweede 'als niet schadelijk' bekend staande harmonische komt. Ik heb ook een FFT plaatje gemaakt waarin de invloed van de ontkoppelcondensator van de voeding voor de gloeidraden van de drie versterkerbuizen is te zien; zie figuur 5. Een zwevende gloeivoeding is een gegarandeerde bron van brom. De eenvoudige koppeling naar massa via een simpele condensator levert een winst van maar liefst 34 dB op. Als ik een email krijg van een zelfbouwer die bromproblemen heeft met zijn net gebouwde versterker vraag ik als eerste of de gloeidraden wel aan massa zijn gerefereerd, of met een harde aansluiting, een opgetilde spanning, met



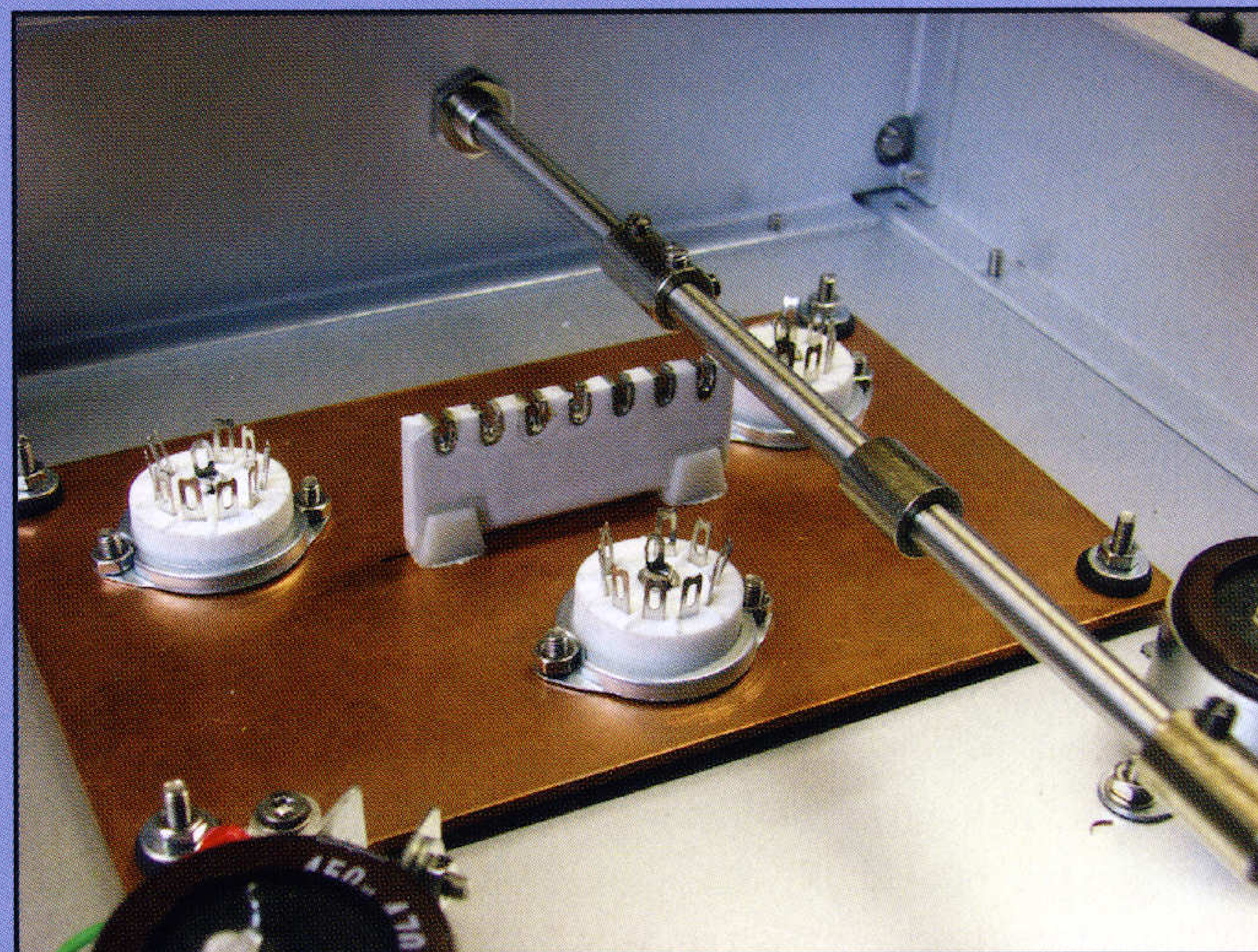
Figuur 3. Frequentie karakteristiek

Figuur 4. THD + noise van 1 kHz









hulp van een weerstanddeler of via een condensator. Dit wordt opvallend vaak over het hoofd gezien met nagenoeg 100% kans op een vette altijd op de achtergrond meedreinende 50 Hz brom.

Epiloog

Het is goed gelukt, als ik het zelf mag zeggen. Met aandacht en tijd is er een voorversterker te bouwen die prachtige prestaties laat horen en zien. De bouw is goed te doen voor iemand die geen twee linkerhanden heeft. Moeilijk verkrijgbare onderdelen zijn er niet. Voor pakweg 500 euro bouw je een voorversterker die vele jaren plezier kan geven, die je bovendien het fijne gevoel van 'zelf gedaan' geeft. En dat ook nog eens voor een fractie van de prijs die je normaal voor een kant en klare fabrieksversterker van deze klasse en onderdelenkwaliteit neer moet tellen. Wie zegt daar dat zelfbouw niet meer loont? Dat gaat in de buizenelektronica in ieder geval niet op. Wat? Een chipamp meet nog veel beter? Nou, laat die dan maar lekker op de meetbank staan, luisteren naar muziek doe ik wel met de buizenbak in het audiorek…J. De Classic Three is eigenlijk een mooi voorbeeld van het 'KISS' principe: 'Keep It Simple Stupid'. De inderdaad relatief simpele opzet van de schakeling zou meteen ook wel eens de grote kracht van deze voorversterker kunnen zijn.

Referenties

1) www.triodedick.com Voor eventuele aanvullingen, vragen en details over de bouw.

2) www.ae-europe.nl. Trafo en smoorspoel en diverse andere componenten.

3) www.conrad.nl Diverse kleine onderdelen

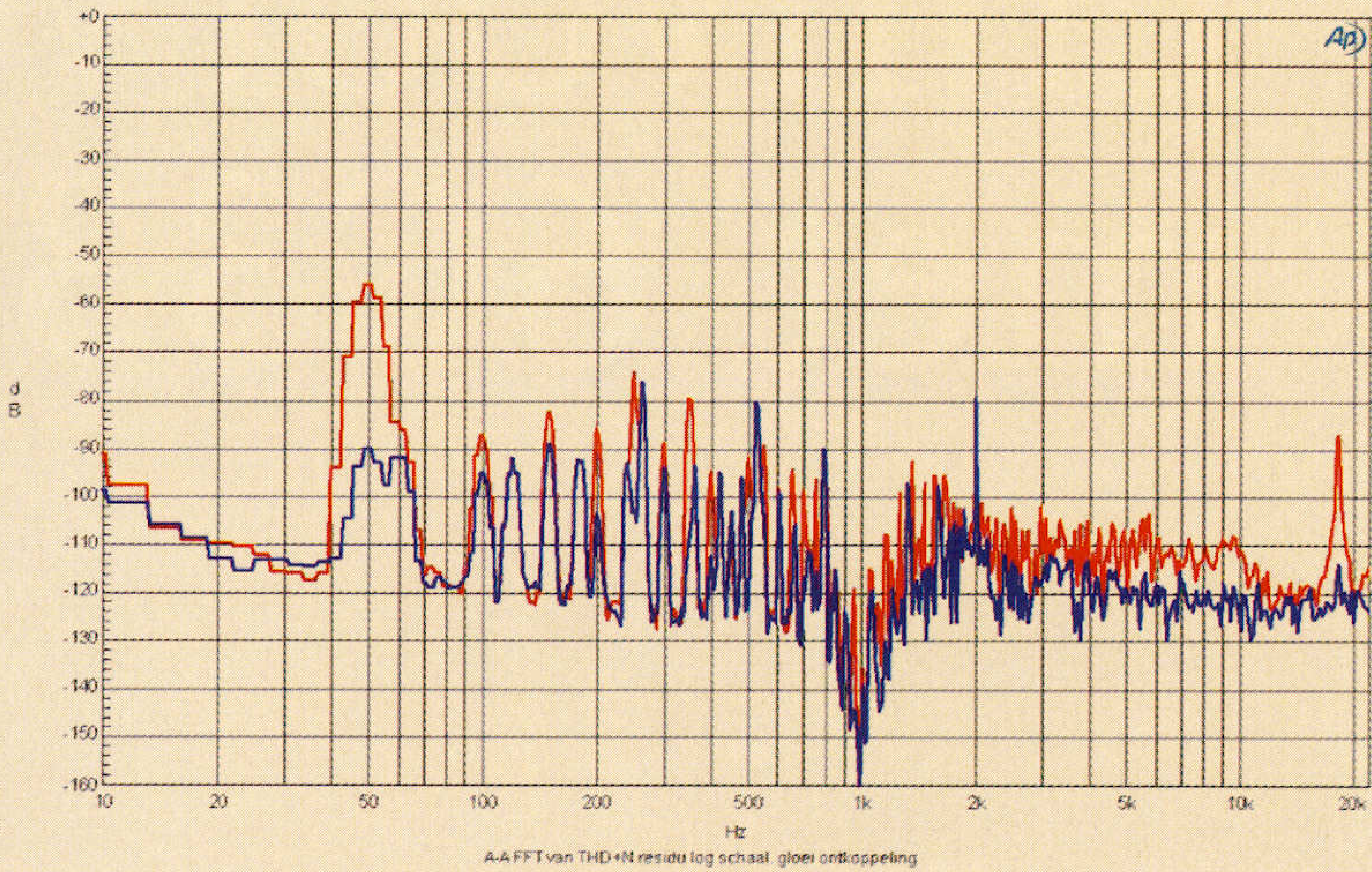
Componenten

Weerstanden:
R1, R2, R3, R4: 1 kOhm/ 1 watt (Takman carbon)
R5: 33 kOhm/ 5 watt (Kiwame)
R6: 220 kOhm/ 1 watt (Takman carbon)
(bovenstaande alles 2 x voor beide kanalen)
R7: 220 Ohm/ 0,25 watt metaalfilm
R8, R9: 2K2/ 2 watt
R10: 270 K/ 2 watt
R11: 560 Ohm/ 0,25 watt
R12: 120 Ohm/ 0,25 watt
Instelpotmeter: 2K5
Volumeregelaar: TKD 100 kOhm

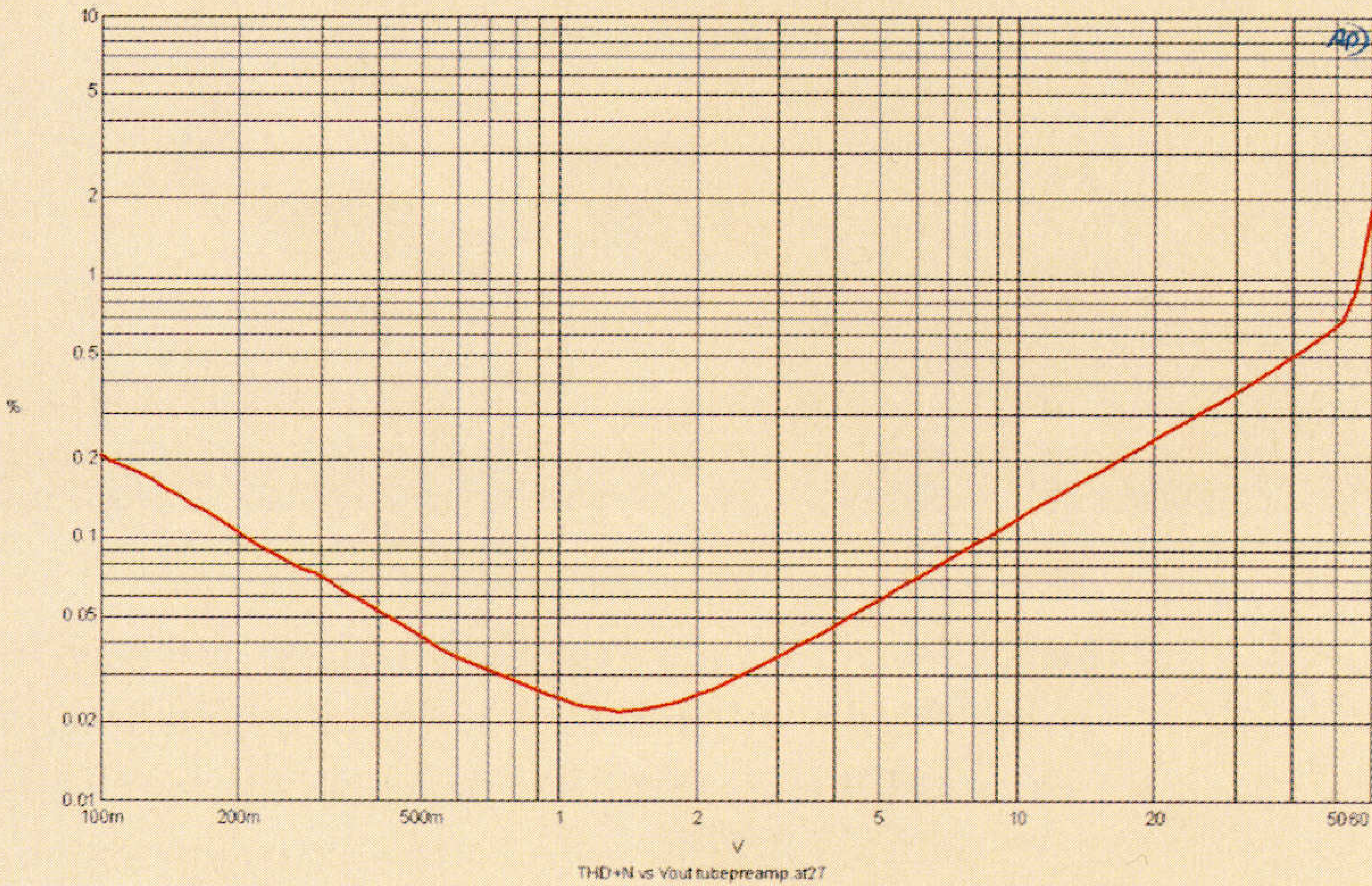
Buizen:
6N6P 3x
6X4

Condensatoren:
C1: 0,47uF/ 630 volt (AmpOhm Paper in wax) (2x voor stereo)
C2: 10.000 uF/ 16 volt elco
C3: 47 uF/ 500 volt (JJ Electronics)
C4: 50+50 uF/ 500 volt (JJ Electronics)
C5: 22 uF/ 16 volt elco
C6: 0,47 uF/ 250 volt folie condensator MKP, MKP
C7, C8: 470uF/ 450 volt elco (Nippon Chemicon)

Overige:
Spanningregelaar: LM350
Diode: 1N4006
Led: blauw 5 mm plus houder.
Voedingstrafo: AE-Europe nr. 30460
Smoorspoel: AE-Europe nr. 29026
Aluminium behuizing 43 x 30,5 x 70 mm



Figuur 5.
THD + noise van 1 kHz met ontkoppelde gloeidraden



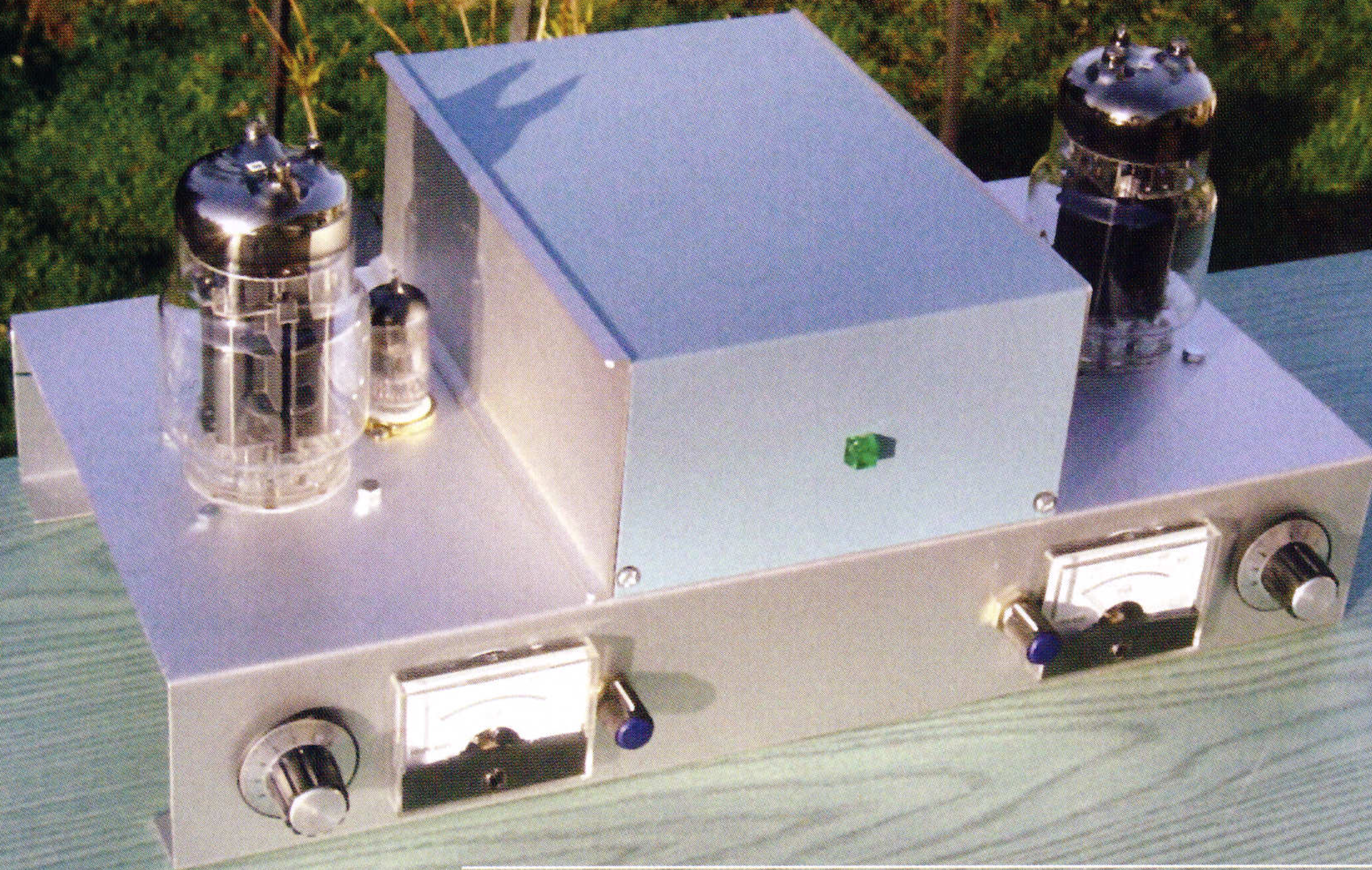
Figuur 6.
THD + noise als functie van de uitgangsspanning





Lijnvoorversterker met 6C33

[header]



DOOR ARI POLISOIS

Meestal wordt een voorversterker uitgevoerd met kleine miniwatt buisjes. Ari Polisois uit Frankrijk bewandelt opnieuw opmerkelijke wegen bij zijn nieuwste voorversterker; hij gebruikt een 6C33 eindbuis. Zeer ongebruikelijk, maar de resultaten zijn subliem!

Sommige mensen hebben er alles voor over om het beste geluid te krijgen, ze durven te investeren. In dit artikel wordt hiervan een voorbeeld gegeven, waarbij het niet om geld gaat, maar om super optimale geluidskwaliteit. Een nieuwe lijnvoorversterker wordt besproken die minimaal aan de volgende eisen moet voldoen:

1) hoge ingangsimpedantie
2) lage uitgangsimpedantie
3) versterkingsfactor 10 maal
4) zeer lage vervorming
5) zeer lage brom en ruis
6) breed frequentiebereik
7) geen aantasting van microsignalen

Dit zijn pittige eisen, maar door vooraf slimme keuzes te maken kan aan de meeste worden voldaan. Een versterkende buis als de ECC88 in gemeenschappelijke kathodeschakeling kan de voorwaarden 1,3,4 oplossen. Een 6C33 eindbuis in kathodevolger schakeling levert de in 2 gewenste lage uitgangsimpedantie en garandeert het brede frequentiebereik van eis 6. Vooral punt 5 vraagt om een schone voeding die, gecombineerd met juiste componentkeuze, ook aan de voorwaarde 7 voldoet.

Concept

Mijn vriend John Hall uit New York stuurde mij het schema van figuur 1 met de vraag of je zo'n voorversterker ook met de 6C33 buis zou kunnen maken. Mijn eerste reactie was dat ik dit grandioze overdrijving vond en meldde hem dat. Maar John antwoordde: "kijk eens hoe jouw ontwikkeling is gegaan". "Je bent begonnen met de ECC83, daarna de 6SN7, vervolgens gebruik je nu de 6C33 en binnenkort stap je over op de GM-70". "Er is iets met die dikke buizen, ze klinken mooier dan de kleintjes". Ik moest hem daarin gelijk geven en zo werd de idiote gedachte geboren om een voorversterker met de dikke 6C33 buis te gaan maken. Daarbij mocht die nieuwe voorversterker absoluut het kostbare audiosignaal niet aantasten, hij mocht alleen versterken.

Startfase

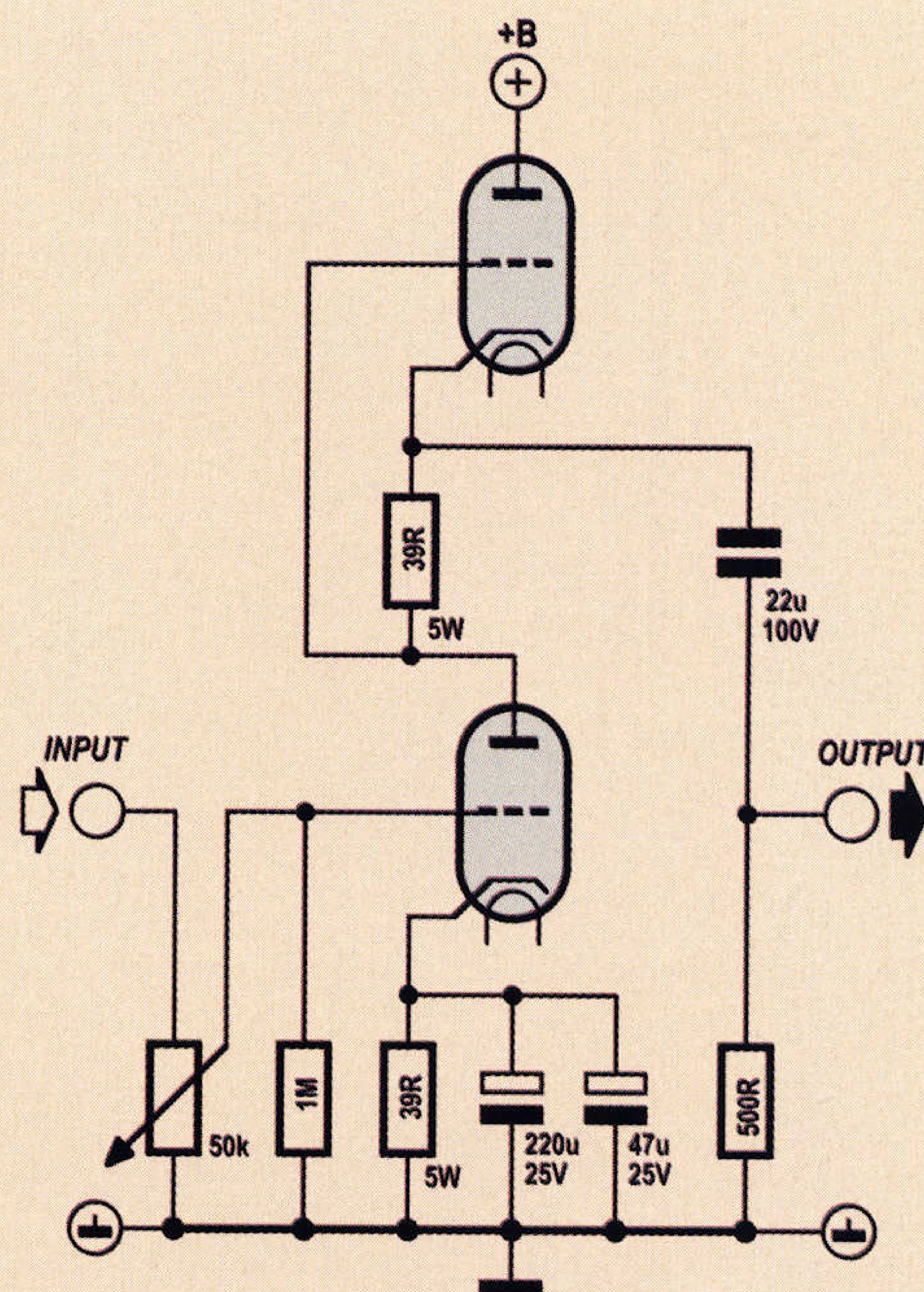
Figuur 2 toont het schema waarmee ik begon. Het is een tweetraps versterker; de eerste buis levert de verster-

king en de tweede de lage uitgangsimpedantie. Er zijn weinig onderdelen nodig, slechts zeven weerstanden en tussen de twee trappen wordt natuurlijk geen koppelcondensator gebruikt, wat in mijn ontwerpen een voorwaarde is. Ik vind condensatoren "klinken" en dat wens ik niet.

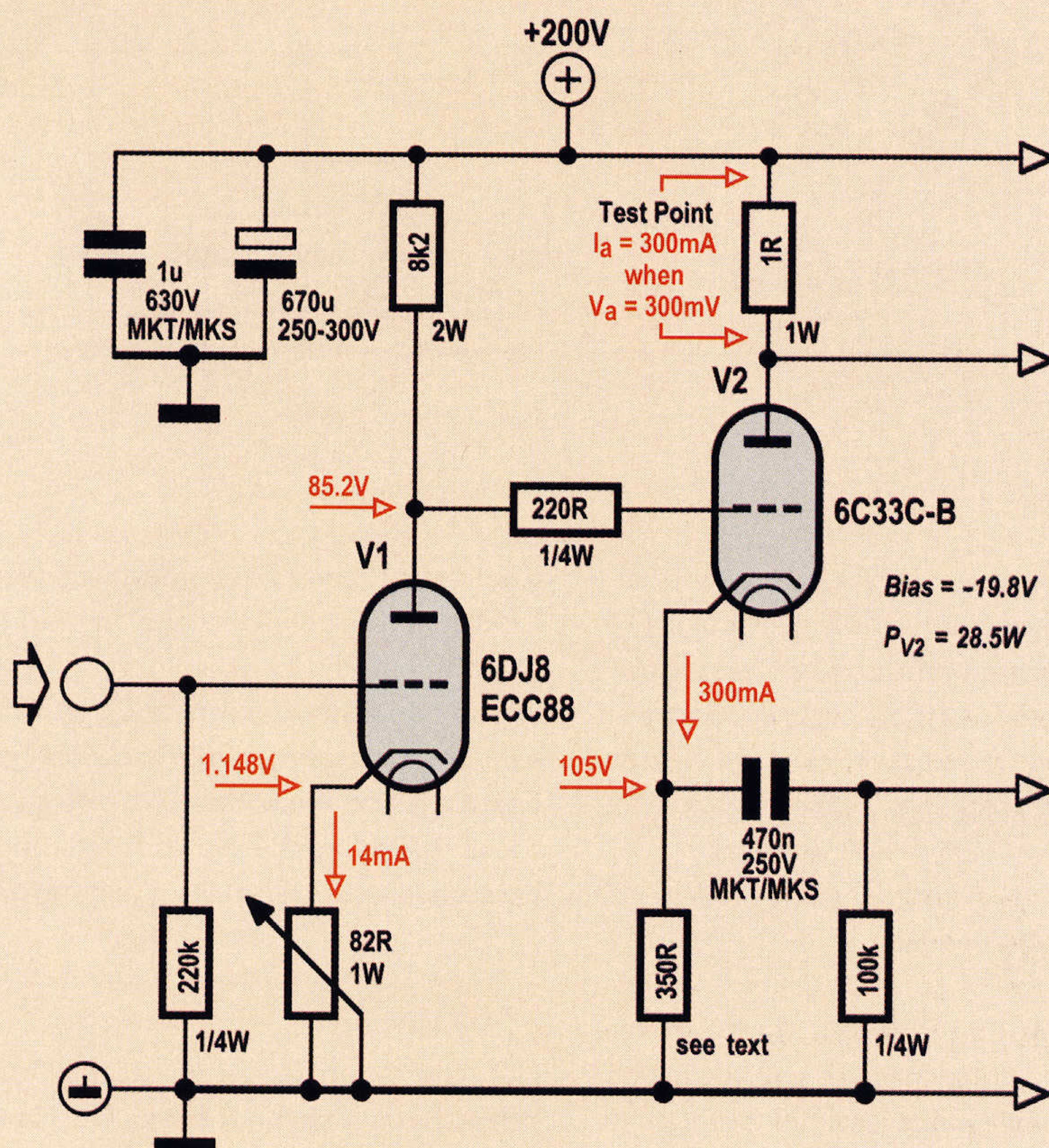
Voor de eerste buis kun je een ECC82 of een 6SN7 gebruiken, maar ik heb uitstekende ervaringen met de ECC88 of 6DJ8. Deze buis vervormt weinig en functioneert prima bij lage voedingsspanningen. Bij een gekozen voedingsspanning van 200 V en een meest lineaire instelling met een ruststroom van 14 mA komt in deze schakeling de kathode op om en nabij 1,1 V te staan. Dit betekent dat de maximale ingangspanning een amplitude van 1,1 V mag hebben (= 0,8 V_{rms}). Is die spanning groter, dan moet er aan de ingang iets verzwakt worden om oversturing te voorkomen. De anode van de ECC88 komt op ongeveer +85 V te staan, instelbaar met de regelbare 100 Ohm kathodeweerstand, ingesteld op 82 Ohm. Deze anode is rechtstreeks gekoppeld aan het stuurrooster van de 6C33, waar ik voor extreem lineaire instelling een ruststroom van ongeveer 300 mA doorheen stuur. Volgens de karakteristieken van de 6C33 moet de spanning op de kathode van de 6C33 dan ongeveer 20 V positiever zijn dan de spanning op het stuurrooster (Vgk = -20V). Met deze gegevens kunnen we de kathodeweerstand berekenen. Die wordt: (85 + 20) / 0,3 = 350 Ohm bij een vermogen van 105V x 0,3A = 32 Watt; dit is dus een zware jongen.

Dynamisch gedrag

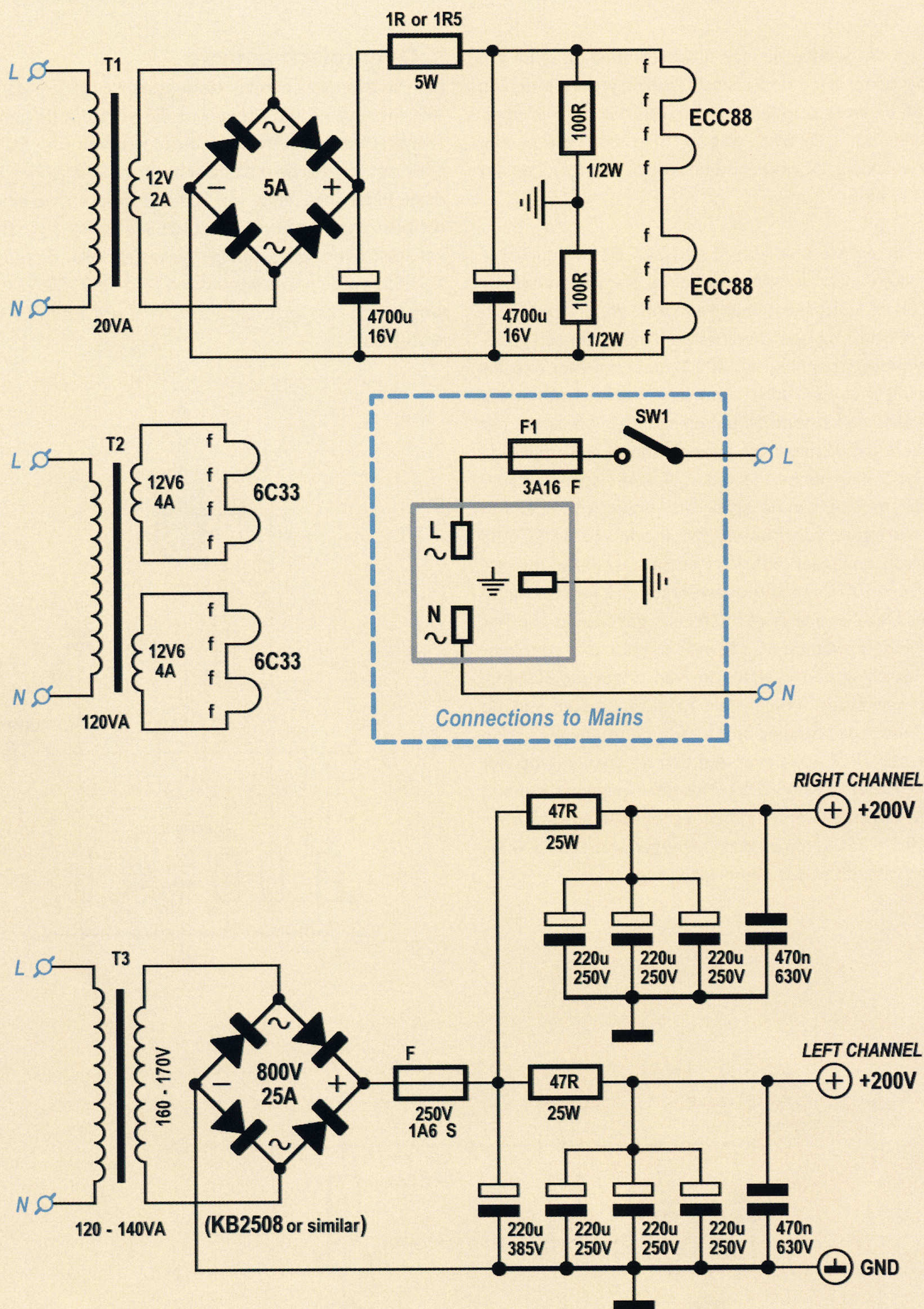
Mijn streven was een versterkingsfactor groter dan 10. We kunnen nu uitrekenen of die versterking gehaald wordt. De versterkingsfactor (µ) van de ECC88 bedraagt 33, dus de maximaal haalbare versterking is 33 maal. In de schakeling van figuur 2 moeten we er echter rekening mee houden dat het versterkte signaal zich verdeelt over de inwendige weerstand van de buis (Ri = 2k65) en de anodeweerstand Ra = 8k2. De versterking wordt dan gegeven door: Av = µ × Ra / (Ra + Ri) = 25 maal.



Figuur 1.
Conceptschema van een SRPP voorversterker, naar idee van John Hall



Figuur 2.
Eerste benadering van de nieuwe ECC88/6C33 voorversterker



Figuur 3. Basisvoeding van de voorversterkers; zie hierover de opmerkingen in de tekst.

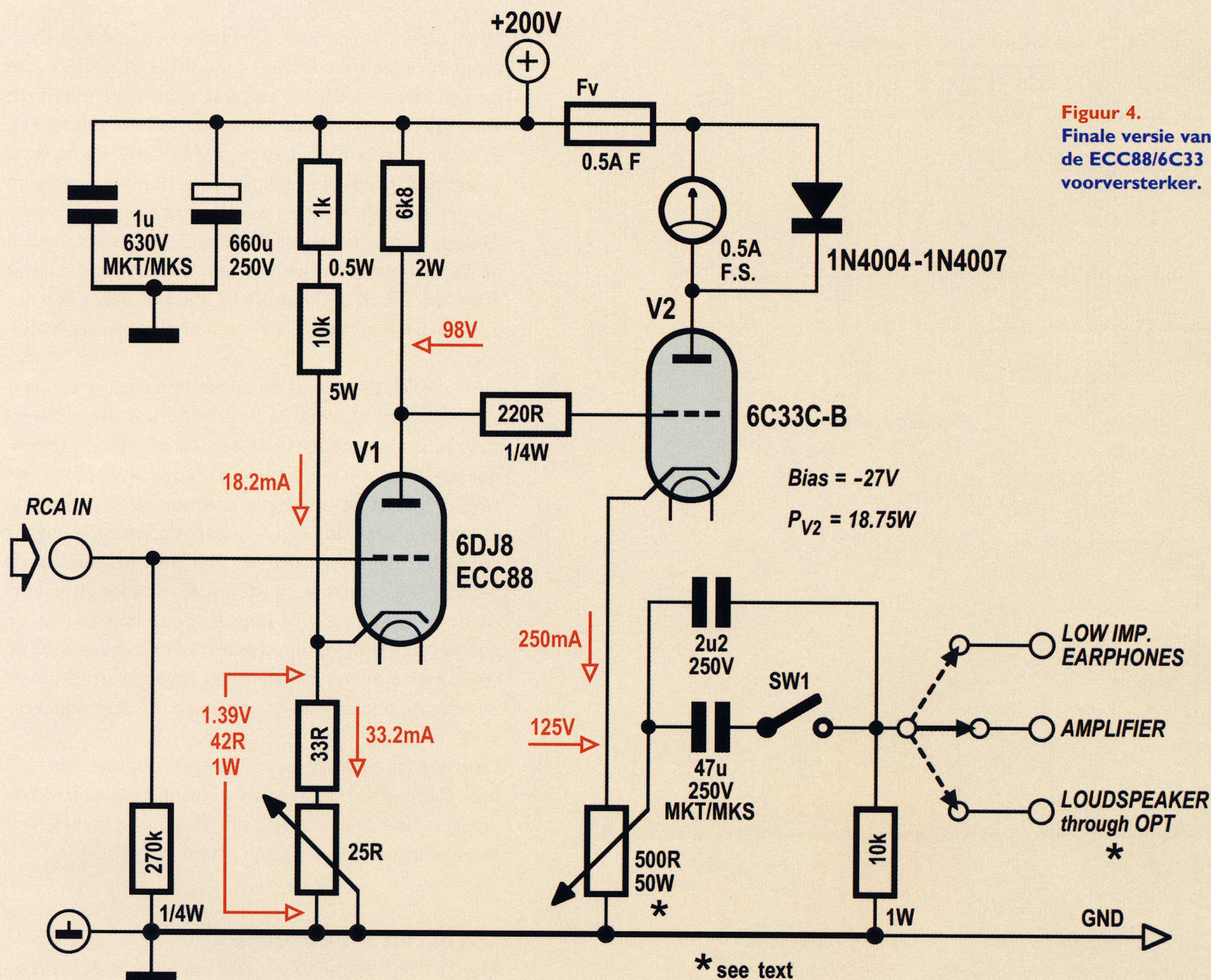
De werkelijke versterking is lager, want de kathodeweerstand is niet door een condensator overbrugd. Dus over de kathodeweerstand komt ook een wisselspanning te staan die zorgt voor kathodetegenkoppeling en daarmee de effectieve versterking verlaagt. De versterking die totaal in deze schakeling optreedt wordt nu gegeven door: $A_{eff} = A_v / (1 + \beta \times A_v)$ waarbij $\beta = 0{,}01$. Invullen van de getallen levert op dat Aeff = 19,96 = 20 maal[1]. Dit is dus ruim voldoende.

Hoeveel versterkt de 6C33? Ook daar vindt een verdeling plaats van de versterkte spanning over de inwendige weerstand van de buis (ongeveer 100 Ohm) en de kathodeweerstand (500 Ohm). Maar omdat de 6C33 geschakeld is als een kathodevolger, weten we op voorhand al dat de versterkingsfactor net ietsje minder zal zijn dan 1 maal.

Effectief zal deze voorversterker een versterkingsfactor hebben van ongeveer 20 maal. Zoals gezegd is dat voldoende groot. Nu kunnen we overgaan naar een praktische realisatie van deze voorversterker, met beschikbare onderdelen. Daarover gaat het vervolg.

Voeding

Het schema van de voeding staat in figuur 3. Deze schakeling is de eenvoud zelve. De gloeidraden van de ECC88 kunnen in serie worden gezet (ik gebruikte twee



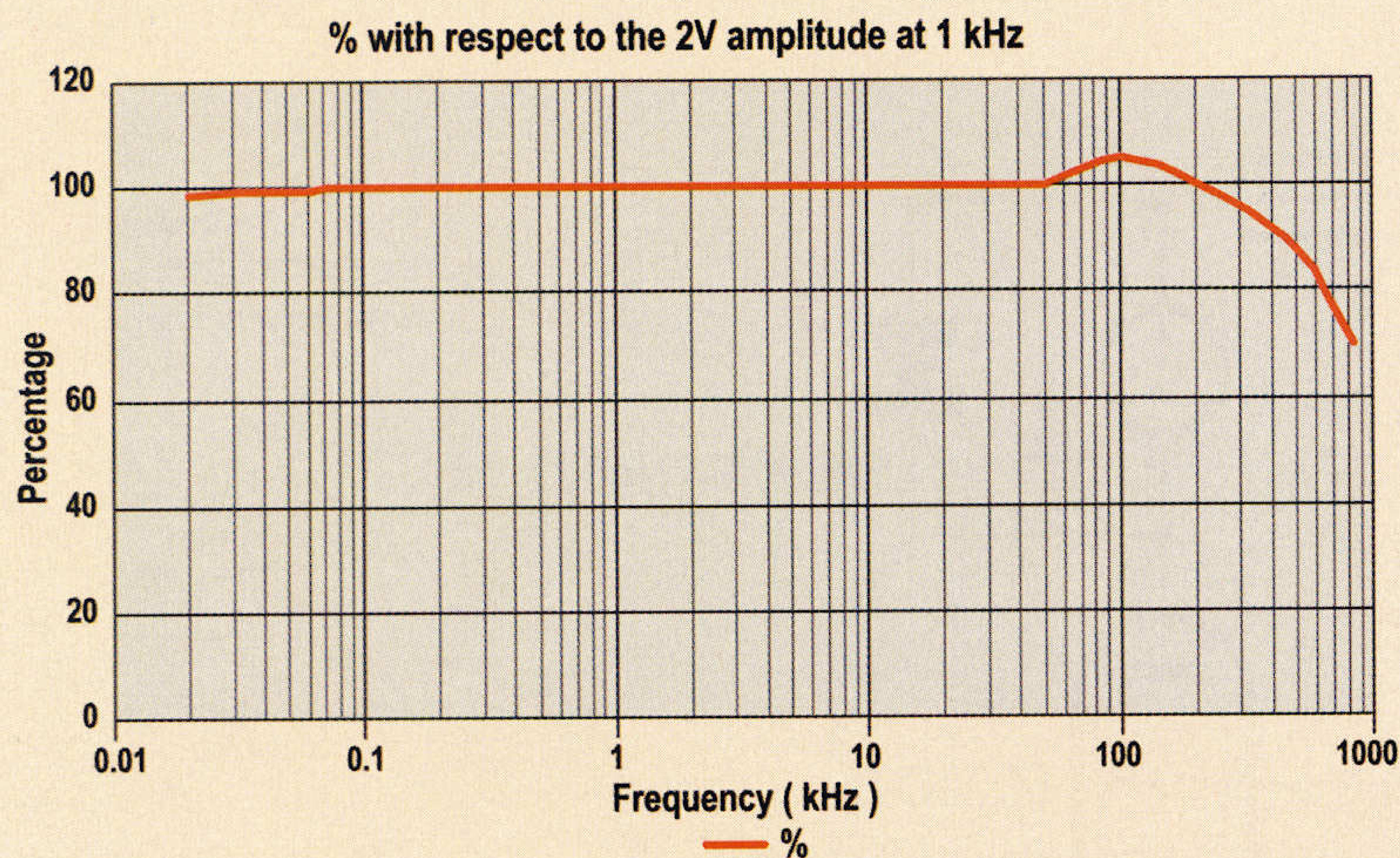
Figuur 4.
Finale versie van de ECC88/6C33 voorversterker.

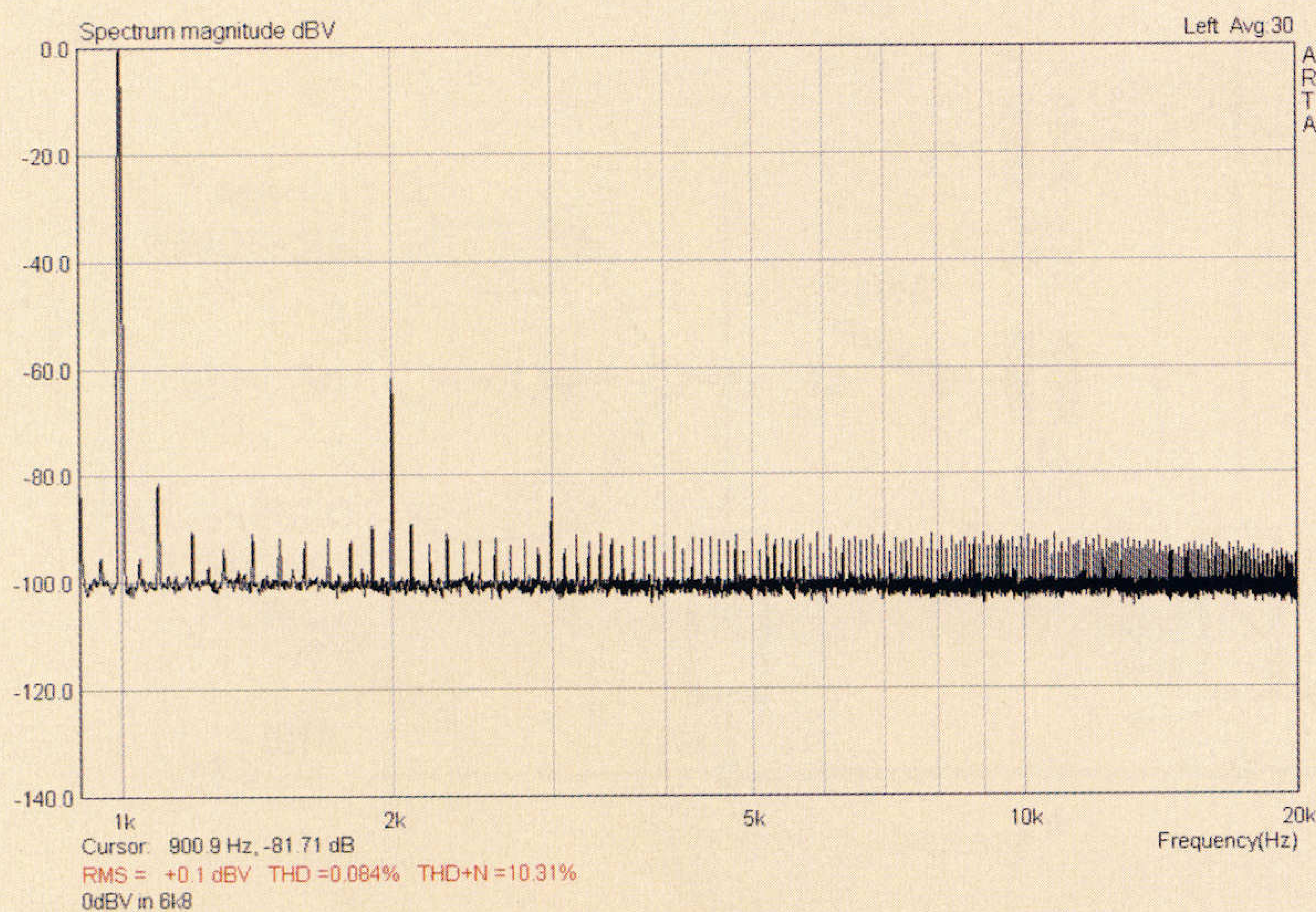
buisjes) waardoor ze met 12 V kunnen worden gevoed. Gelijkrichting mag, maar is niet echt nodig. Via twee weerstanden van 1 kOhm wordt deze gloeispanning naar aarde gekoppeld, waardoor hun storende invloed (brom) geminimaliseerd wordt. De gloeidraden van de 6C33 buizen worden evenmin gelijkgericht en zwevend gehouden. Ze mogen worden geaard, maar het hoeft niet. Op het uiteindelijke bromniveau aan de uitgang heeft dit geen invloed.
De hoogspanning van 200 V wordt eenvoudig gelijkgericht en gebufferd en gefilterd met een navolgende R-C combinatie. Verderop wordt hierover meer gezegd met nadere aanwijzingen voor verbetering.

Finale versie

In figuur 4 staat de schakeling zoals ik deze uiteindelijk heb gebouwd. Ik moest een aantal wijzigingen doorvoeren in verband met de beschikbaarheid van componenten. De consequenties daarvan heb ik uiterst zorgvuldig geëvalueerd, hetgeen uiteindelijk de schakeling van figuur 4 heeft opgeleverd.
In de eerste plaats heb ik de instelbare 100 Ω kathodeweerstand (ingesteld op 82 Ω) vervangen door een vaste weerstand van 33 Ω met een instelpotentiometer van 25 Ω in serie. Aan deze "regelbare" kathodeweerstand heb ik een extra weerstand van 11 kΩ (10k en 1k in serie, 5W types) gekoppeld die aan de andere kant is aangesloten op de hoogspanning. Hierdoor ontstaat er een extra stroom van 18 mA door de nu kleinere kathodeweerstand waardoor er toch voldoende spanningsval over de kathodeweerstand ontstaat; in dit geval ongeveer 1,4 V. Hierdoor mag de ingangspanning effectief 1 V bedragen voordat enige oversturing ontstaat. Vooral voor CD spelers is deze extra marge gewenst. De werkelijkheid van deze wijziging is overigens dat ik een instelpot van 25 Ω had liggen. Tja, zo gaat het in de praktijk.
Omdat de kathode nu op een hogere spanning staat, moet de anodeweerstand van de ECC88 ietsje kleiner worden. Deze wordt nu 6k8, en dat is een standaard E12 waarde die ik op voorraad heb. Neem hiervoor een type dat minstens 2 W kan verwerken. Het grote nevenvoordeel van de verlaging van deze weerstand is dat het frequentiebereik van de voorversterker wordt vergroot. Immers de aansturende impedantie bij het rooster van de 6C33 wordt lager, waardoor de invloed van de Cgk + Cga capaciteiten aldaar afneemt.

Door de stroomsterkte van de 6C33 nu op 250 mA te stellen, kwam ik met de aanwezige spanning uit op een 500 Ω kathodeweerstand. Ik gebruik een regelbare 1 kΩ







boven:

Figuur 5. Frequentiebereik -3dB

Figuur 6. Vervormingsspectrum van 1kHz sinus

50 W potentiometer van 'Ohmite' uit de USA met daaraan parallel een vaste weerstand van 1 kΩ / 50W. De foto's laten zien dat dit een fraaie degelijke regelbare weerstand is, waardoor ik direct de beschikking heb over een regelaar van het uitgangsvolume. Plaats deze weerstanden op een plek waar ze hun warmte goed kunnen afgeven, want ze worden fiks heet.

Al deze wijzigingen bij elkaar veranderen de spanningen en de stromen iets. Figuur 4 toont duidelijk de nieuwe waarden. De 6C33 heeft nu bij 250 mA een Vgk van -27 V, maar nog steeds is dit een uiterst lineaire instelling.

Opmerkelijk zijn tevens de toegepaste uitgangscondensatoren. Voor normaal audiogebruik naar een eindversterker is een condensator van 2,2 uF meer dan voldoende groot om het diepste laag goed weer te kunnen geven. Omdat de uitgangsimpedantie zo extreem laag is, kun je echter ook een transformator aan de uitgang koppelen. Meestal zal die een lage primaire impedantie hebben van omstreeks 1 kOhm. Dan moet voor correct onverzwakt laag de koppel-C een hogere waarde hebben en dat wordt hier bereikt door extra een 47 uF condensator bij te schakelen. Het uitgangsvermogen dat de voorversterker dan kan leveren bedraagt ongeveer 1 W.

Ontwerp en praktijk verschillen gelukkig niet extreem veel. Correct afstemmen van de spanningen en stromen vraagt echter wel heel veel tijd. Geduld en nauwkeurig werken is hier zeker op zijn plaats.

Testen en opstart

Met een ohmmeter kan vooraf gecontroleerd worden of alle aansluitingen goed zijn gemaakt, zonder dat de versterker direct onder spanning staat.

Bij correcte bouw moet het volgende worden gemeten:

ECC88

pin 2 of 7 = 220k of 270k naar aarde
Pin 4 en 5 = minder dan 100 Ohm naar aarde
Pin 3 of 8 = van 33 tot 58 Ohm naar aarde
Pin 1 of 6 = 6k8 naar de +200V aansluiting

6C33

Pin 1-2-6-7 = oneindig Ohm naar aarde
Pin 3 = 500 Ohm naar aarde
Pin 5 = 7 kOhm naar de +200V aansluiting

Het goed opwarmen van de voorversterker duurt ongeveer 15 minuten. Hij bereikt zijn volledige audiofiele kracht pas na een half uur, dus enig geduld is hier zeker op zijn plaats, wat in audiofiele kringen niet ongewoon is.

Resultaten

In figuur 5 staat de meting van het -3dB frequentiebereik; deze loopt door tot 833 kHz. In het hoogste gebied, ver boven het audiobereik, zit een geringe en te verwaarlozen resonantie die veroorzaakt wordt door de inductie van de draadgewonden 1k potentiometer.

Een heel opmerkelijke meting staat in figuur 6 waar het spectrum van de vervormingscomponenten van een 1 kHz sinus op 0dBv wordt getoond. De tweede harmonische vervorming bedraagt aldaar slechts 0,084% en dat is heel gering voor een versterker zonder enige tegenkoppeling of correctie. De derde harmonische is nog net zichtbaar boven de brom en ruisvloer en bedraagt 0,006%. Deze voorversterker vervormt dus echt heel weinig.

Figuur 7 laat dit nog een keer zien, maar nu zijn de metingen uitgevoerd voor verschillende frequenties bij een uitgangsspanning van 0 dBv.

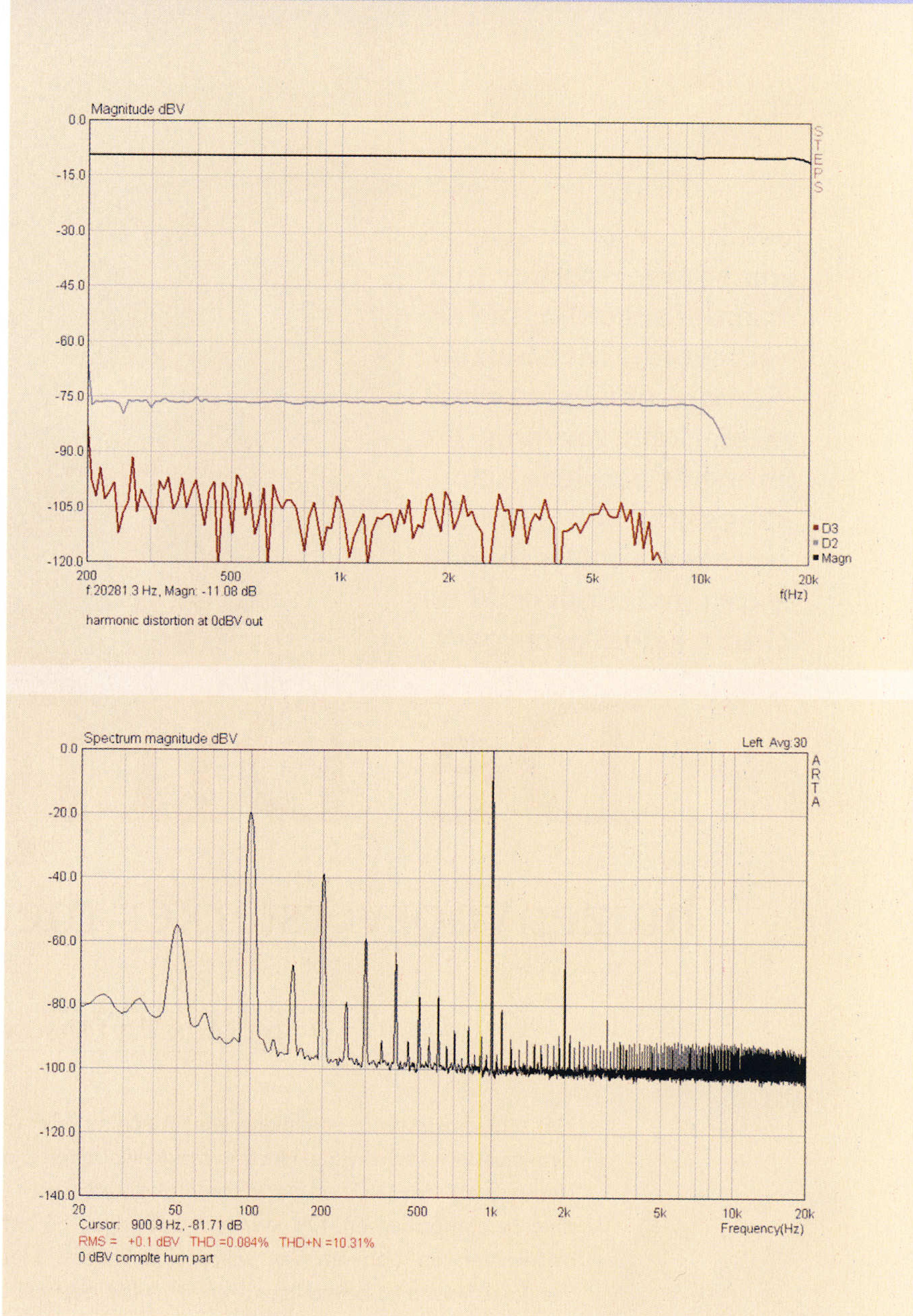
Wie gewend is om naar meetplaatjes te kijken, ziet echter iets in al deze figuren wat om nadere aandacht vraagt. Dit wordt nu overduidelijk getoond in figuur 8. De versterker bromt, de hoogspanning bezit een te hoge 50 en 100 Hz rimpelspanning. Hoe komt dat? De versterker vraagt nogal wat stroom, namelijk 2 x 250 + 2 x 14 + 2 x 18 = 564 mA. Bij zo'n hoge stroomsterkte moet de voeding veel steviger gebufferd worden met zwaardere elco's, met smoorspoelen of E-chokes, of nog veel beter, met een volledig elektronische stabilisatieschakeling. We moeten niet vergeten dat we hier met een voorversterker te maken hebben die signalen rondom de 0 dBv = 1 Veff moet verwerken. Bromrestanten op de 200 V voeding dringen nagenoeg onverzwakt door op het uitgangssignaal. De rimpelspanning op de voeding moet minstens geringer zijn dan 1 mVtt en dat is bij een totale stroomvraag van meer dan 0,5 A geen sinecure.

Subjectief

Hoe klinkt deze voorversterker en hoor je de gemeten brom? Ari Polisois heeft Menno van der Veen gevraagd zijn bevindingen hier weer te geven.

"Eind juli 2010, aan het begin van mijn vakantie, was ik bij hem op bezoek in het schattige dorpje vlak bij Parijs. We zaten buiten te lunchen en in de luisterkamer met open tuindeuren stond de installatie te spelen. Wat mij trof was de extreme natuurlijkheid van het geluid, de levensechtheid, op een niveau dat je niet vaak tegenkomt. In de luisterkamer was ook geen brom te horen, want de volumeregeling aan de uitgang stond nagenoeg dicht en daarmee werd de brom evenredig verzwakt. Dus, de weergave is fantastisch en de brom was niet storend, maar toch, als je het kunt, verbeter dan de voeding." Tot zover Menno's waarnemingen en mening.

Op het European Triode Festival najaar 2009 (ETF2009) heb ik de versterker ook gedemonstreerd. Jean Hiraga was daar aanwezig. Hij is de uitgever van het befaamde magazine "La Revue du Son et du Home Cinema" en beroemd vanwege zijn kennis van Japanse high-end filosofieën plus zijn eigen onderzoek naar single-ended buizenversterkers. In de laatste historische uitgave van zijn blad, het heeft 40 jaar bestaan, omschrijft hij deze installatie als "splendides écoutes". Uit zijn mond is dit een heel groot compliment!



Figuur 7.
Harmonische vervorming (2-e en 3-e) als functie van de frequentie

Figuur 8.
Bromsignaal residuen

Naschrift

De verschillende foto's geven voldoende duidelijk aan hoe ik de versterker heb gebouwd, dus verdere uitwerking laat ik aan de lezer over. In het begin van dit artikel heb ik een lijst van eisen en voorwaarden geformuleerd, waaraan de voorversterker moet voldoen. Alle punten van de lijst zijn gehonoreerd, met uitzondering van de brom. Mijn conclusie is: John Hall heeft mij op een goede koers gezet. Dikke buizen hebben inderdaad iets, wat misschien in getalletjes te vangen valt, maar bovenal hoorbaar is. Het geluid wordt uitermate levensecht. En gaat het ons daar niet om, om echt leven te horen?

contact: A2Belectronic@wanadoo.fr

1. Noot: niet iedereen is met deze specifieke Ari-rekenwijze vertrouwd. Normaal past men de volgende formule toe:

$$A_{eff} = \mu \cdot \frac{R_a}{\left[R_a + R_i + (\mu + 1) \cdot R_k\right]}$$

Invullen van de getallen levert op: Aeff = 19,84, hetgeen voldoende dicht bij de resultaten van Ari ligt].



Jack Pieterson beschrijft een voorversterker met actief scheidingsfilter, uitgevoerd met buizen. Samen met extra eindversterkers vervangt dit filter het passieve scheidingsfilter van een luidspreker, resulterend in extra gedetailleerde en schone geluidsweergave.

De Dirigent

buizenvoorversterker met actief scheidingsfilter

DOOR JACK PIETERSON

Het scheidingsfilter in een luidspreker is een moeilijk te dimensioneren schakeling. Het kan makkelijk buiten zijn ontwerpcondities komen door complex gedrag van de diverse componenten. Dit kwam ik zelf tegen bij het ontwerpen en bouwen van mijn luidspeakers. Het resultaat was niet bevredigend en ik wilde een echt goede oplossing. Ik volgde op dat moment de TubeSociety opleiding (zie 1) en daar werd uitgelegd dat actieve filtering goed en eenvoudig te realiseren is. Daarmee startte het ontwerp van dit artikel.

De Dirigent zorgt voor voorversterking en actieve filtering. Het gesplitste signaal wordt geleid naar de stereo eindversterker UL40-S2 voor het mid-hoog en twee mono PR20-HE eindversterkers voor het laag.

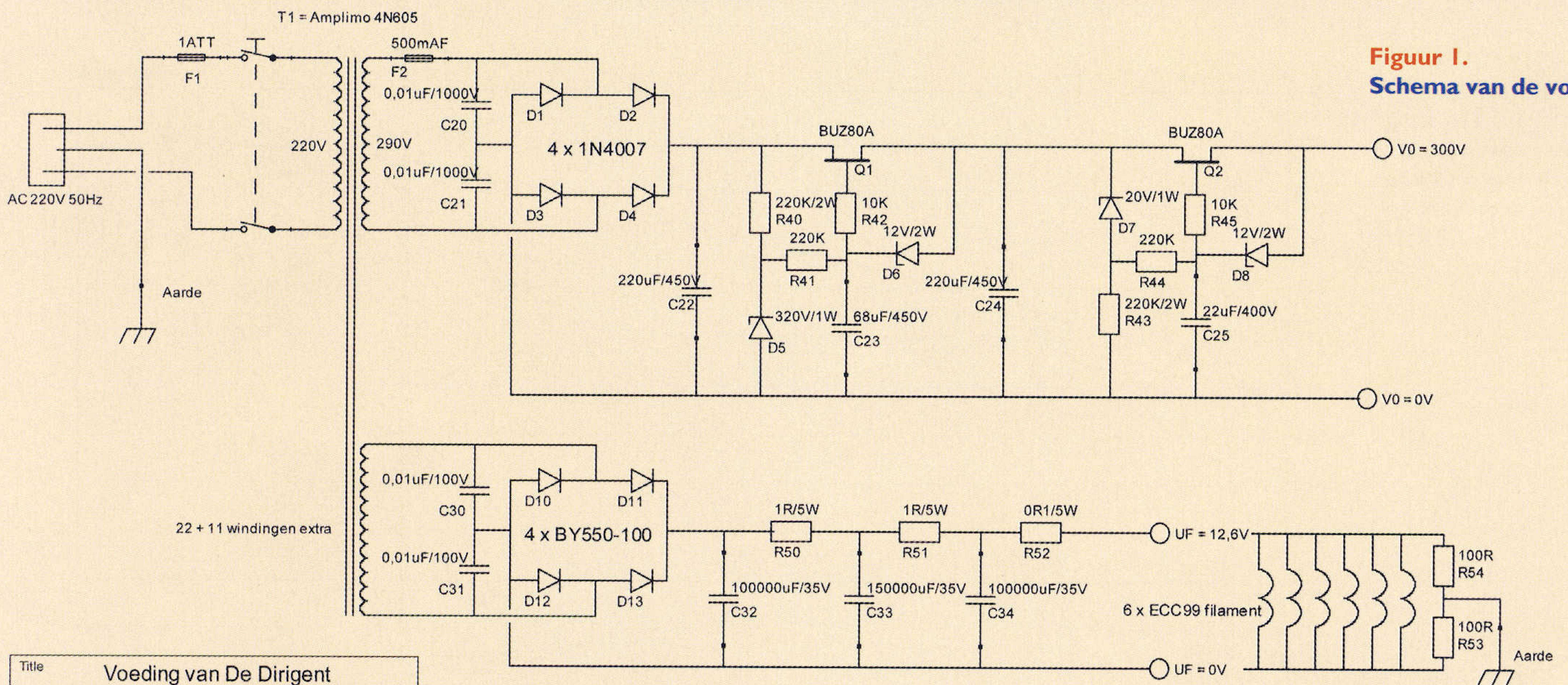
De mogelijkheden van De Dirigent zijn:

- Gebruik als normale voorversterker door middel van een volume geregelde uitgang
- Bi-ampen doordat er een extra onafhankelijke volume geregelde uitgang aanwezig is. Daarmee kunnen eindversterkers met verschillende versterkingsfactoren worden gebruikt
- Actieve filtering voor een tweeweg luidspreker door middel van een Hoog Door Laat Filter uitgang en een Laag Door Laat Filter uitgang
- In de toekomst ook een MDLF waardoor een drieweg luidspreker kan worden aangestuurd met actieve filtering

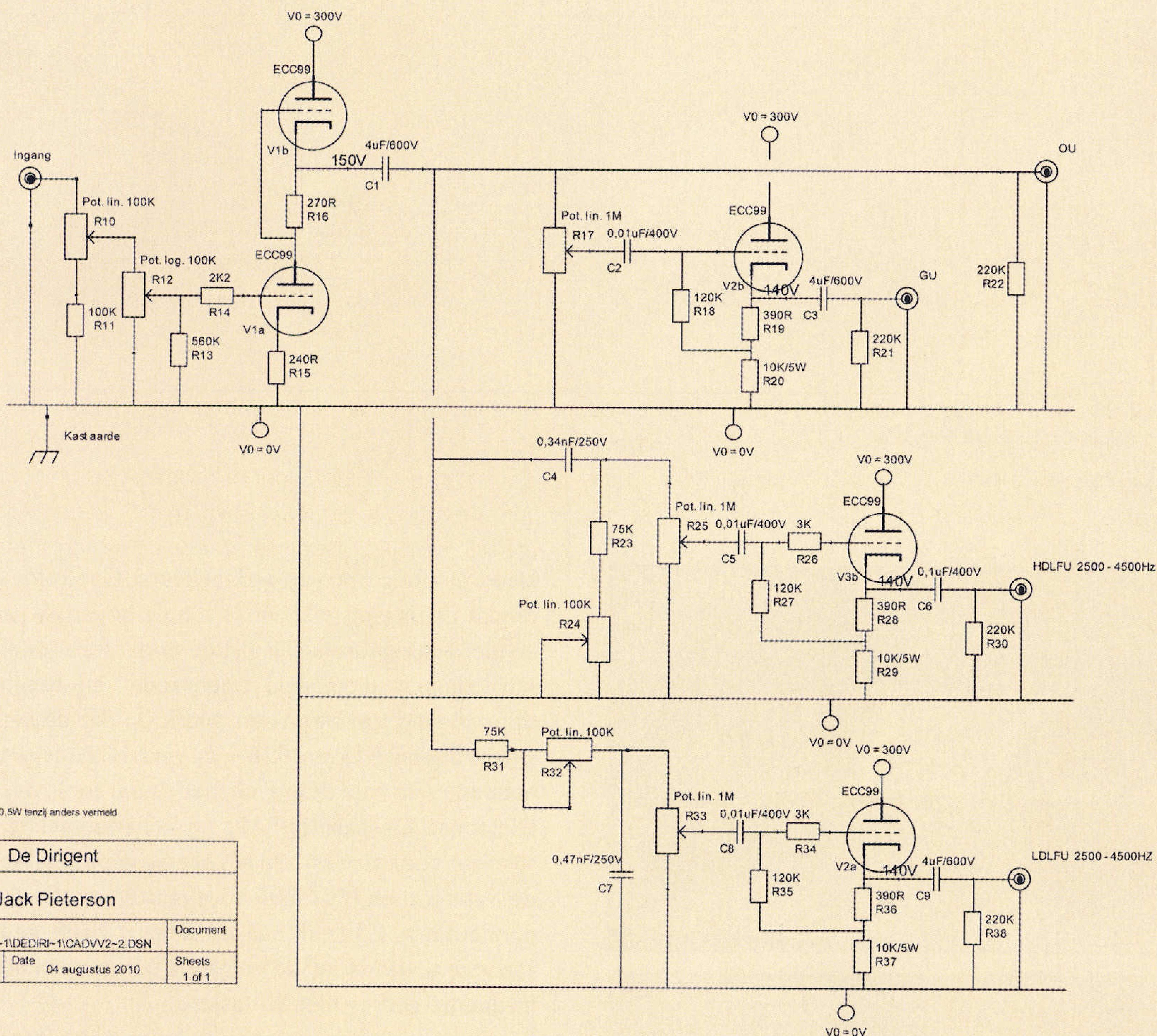
Ik heb een afstandbediening gemaakt voor de volumeregeling met een afstandbediening. Deze stuurt een signaal naar de 100 KOhm log ALPS potmeter met servomotor. Met dit ontwerp heb ik een breed inzetbaar en multifunctioneel ontwerp gemaakt dat de naam van Dirigent verdient.

Netvoeding

De voeding is buiten de voorversterker geplaatst en daarmee is de invloed op en verstoring van de voorversterker minimaal; zie figuur 1 voor het schema. De kwaliteit van de voeding is van groot belang voor de kwaliteit van de voorversterker. Het voedingsgedeelte is ook een ingang en elke vorm van bromresten wordt direct in het uitgangssignaal hoorbaar en oversturen de microdetails van het geluidssignaal. Daarom heb ik daar extra aandacht aan gegeven. Elco's geven geluidsbeïnvloeding, zie (2). Daarom heb ik twee maal een actieve afvlakking gebruikt, één met elco's gevolgd door één zonder. Dit levert wel een kleine puls op in het uitgang signaal als de voeding uitgeschakeld wordt. Deze storing blijft echter wel binnen aanvaardbare grenzen. De resulterende rimpelspanning (brom) op de hoogspanning is kleiner dan 1 mV. Een bijkomend prettig effect is dat na inschakelen de hoogspanning langzaam in ongeveer 40 s oploopt tot de gewenste waarde. De hoogspanning is makkelijk te wijzigen door de zenerspanning van de eerste afvlakking aan te passen. Voor mijn ontwikkelversie was deze instelbaar tussen 200 V en 400V door middel van schakelaartjes. Uiteindelijk is gekozen voor 300 V hoogspanning.
De gloeispanning bedraagt 12,6 Vdc. Deze is goed af te regelen met een aantal serieweerstanden en dat is van



Figuur 1.
Schema van de voeding



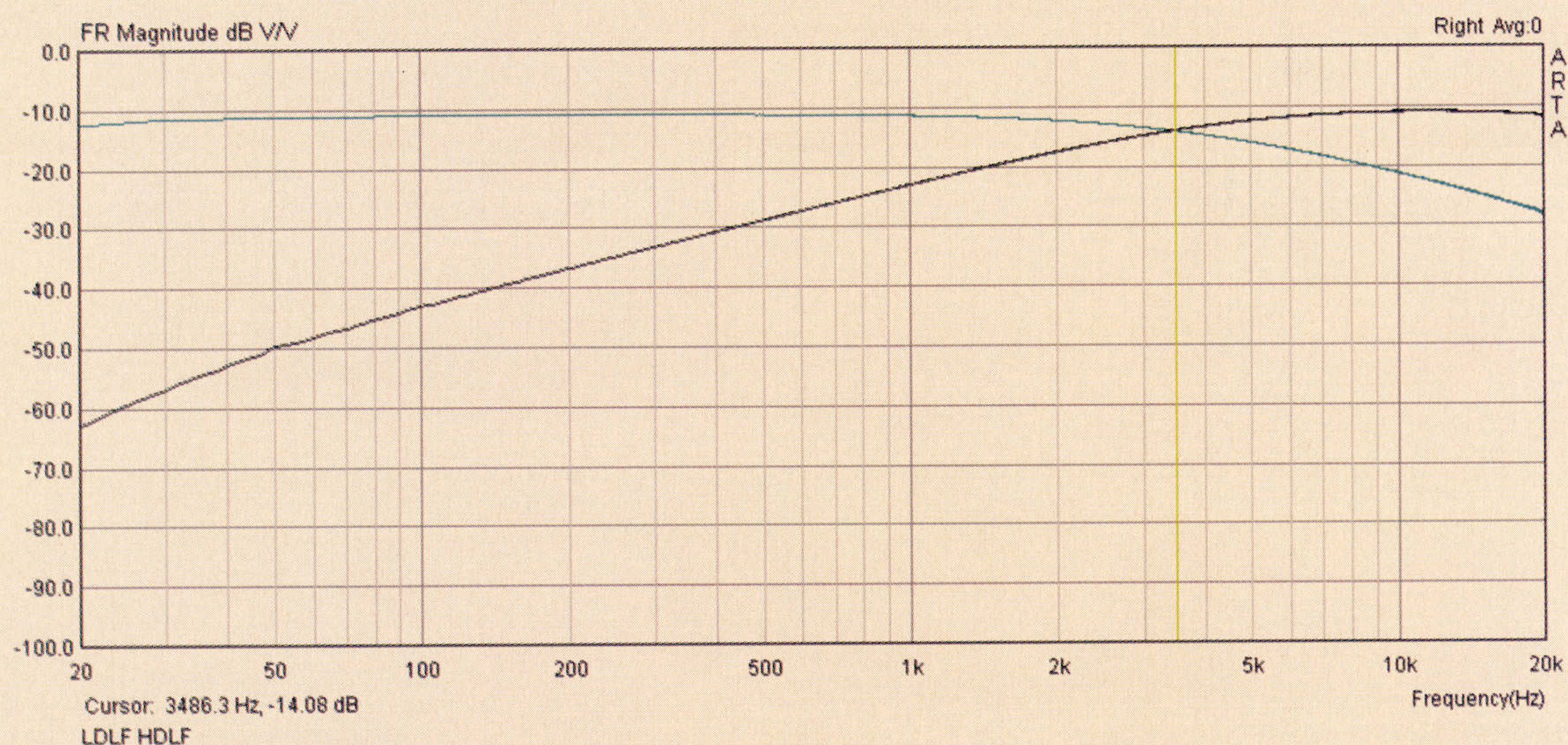
Figuur 2.
Schema van voorversterker en actieve filters

belang voor de levensduur van de buizen. Het gebruik van halfgeleider componenten kan hier bij falen schade aanrichten door de te hoge spanningen die dan ontstaan; zie het onderzoek van Bert Fruitema. Daarom heb ik voor weerstanden gekozen. De benodigde extra wisselspanning is gecreëerd door enkele extra wikkelingen te plaatsen op de ringkern trafo.

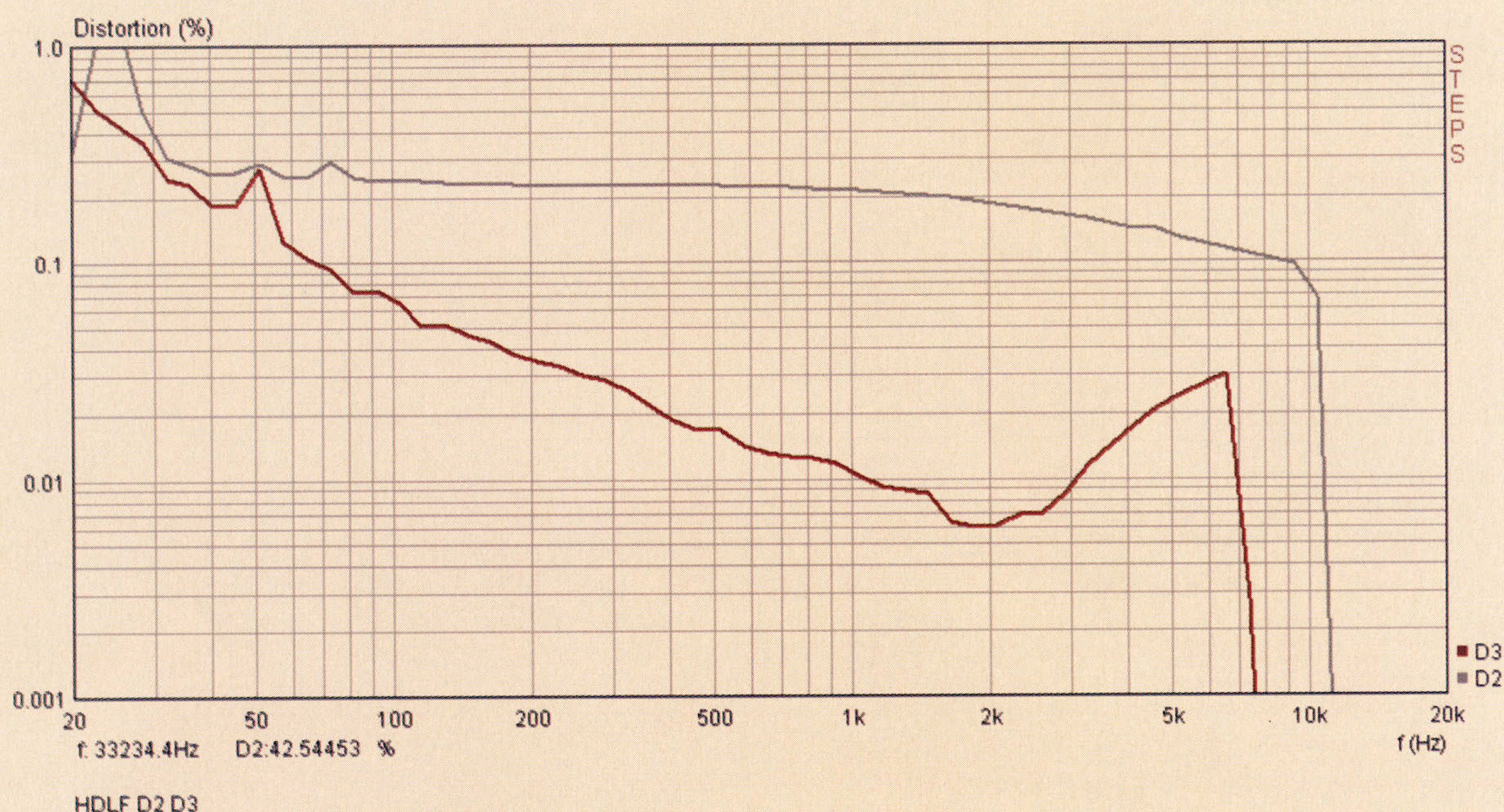
Voorversterker

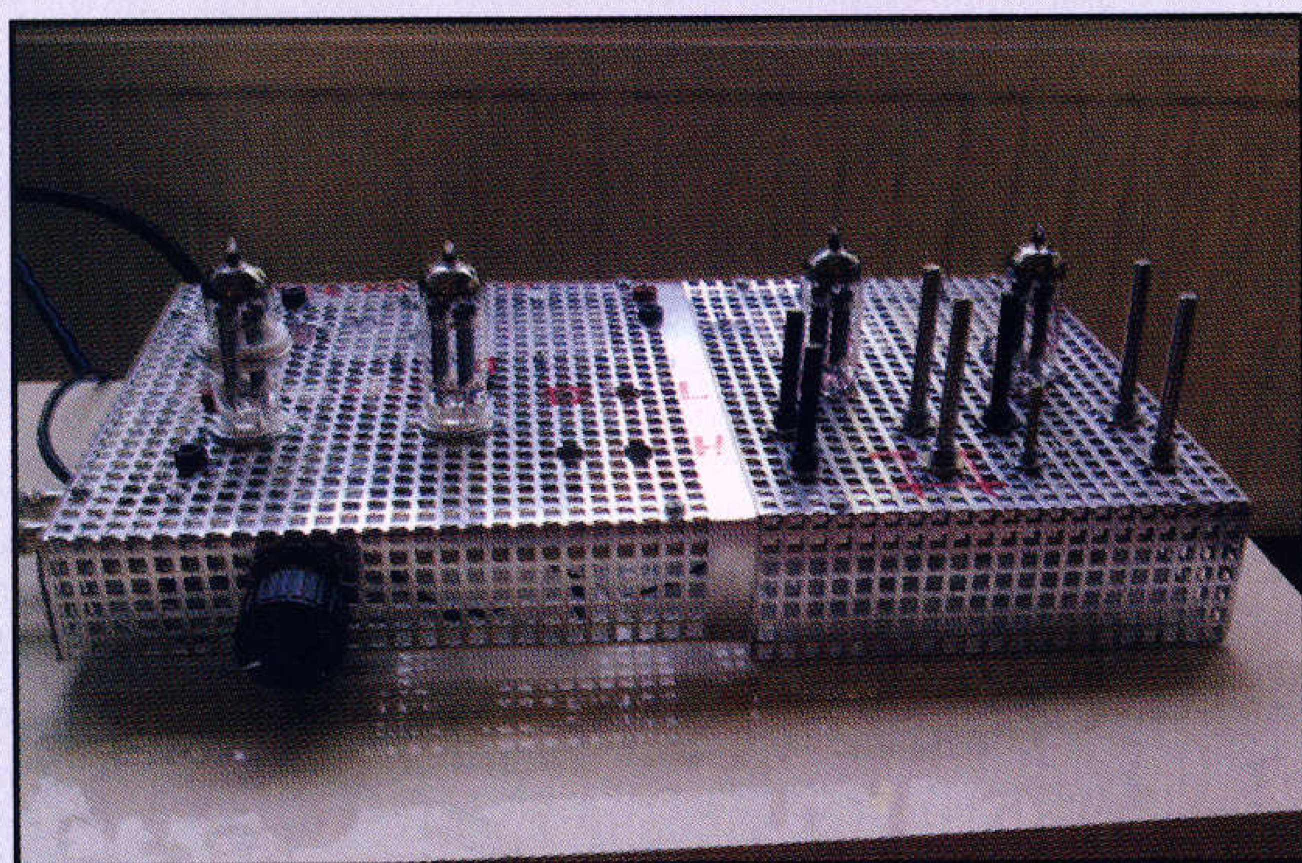
De voorversterking wordt verzorgd door een SSRP schakeling rondom de ECC99 buis V1, zie figuur 2. Bij een hoogspanning van 300 V en 15 mA anodestroom zijn de resultaten uitmuntend. Bij 2 Vrms uitgangssignaal bedraagt de THD slechts 0,1% in een belasting van 10 kOhm. Deze schakeling meet niet alleen goed, maar

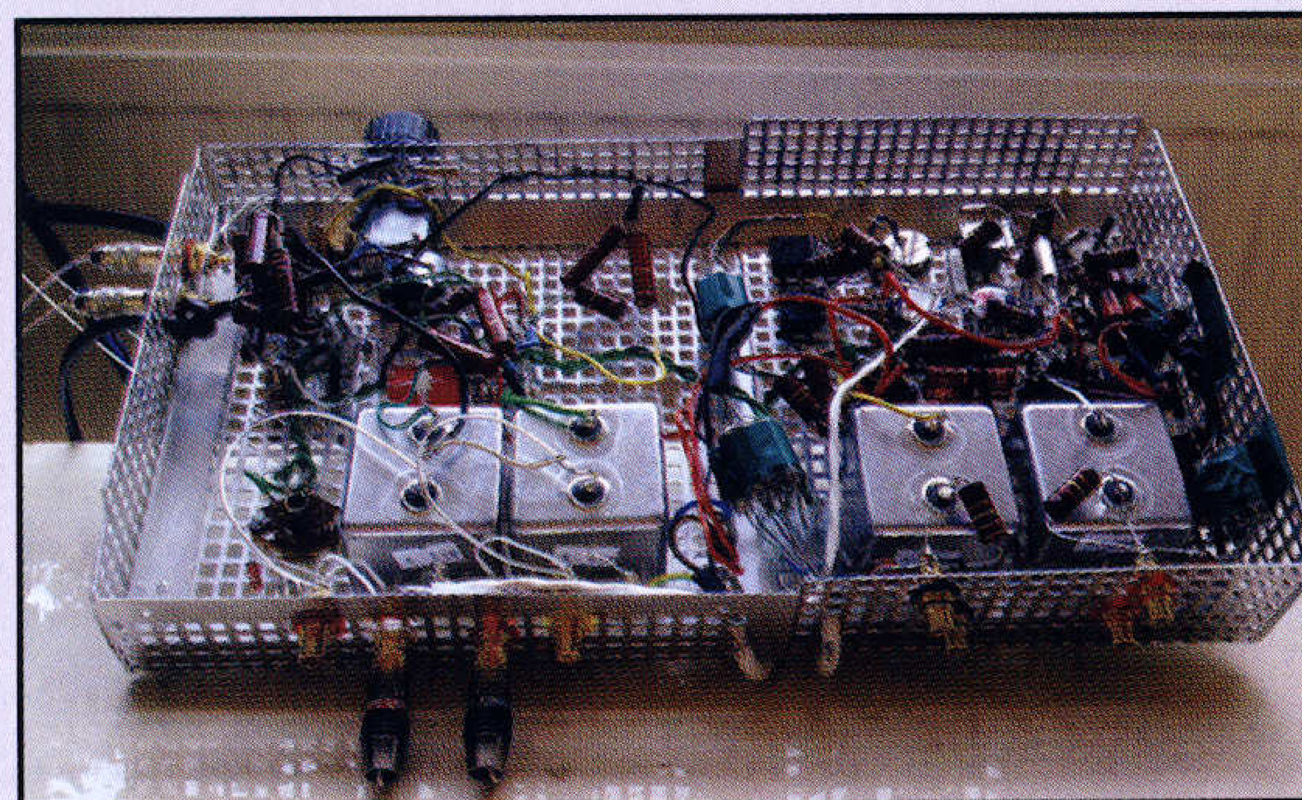
Figuur 3.
Frequentie karakteristieken van de filters, ingesteld op 3,5 kHz



Figuur 4.
2-e en 3-e harmonische vervormingen van het LDLF



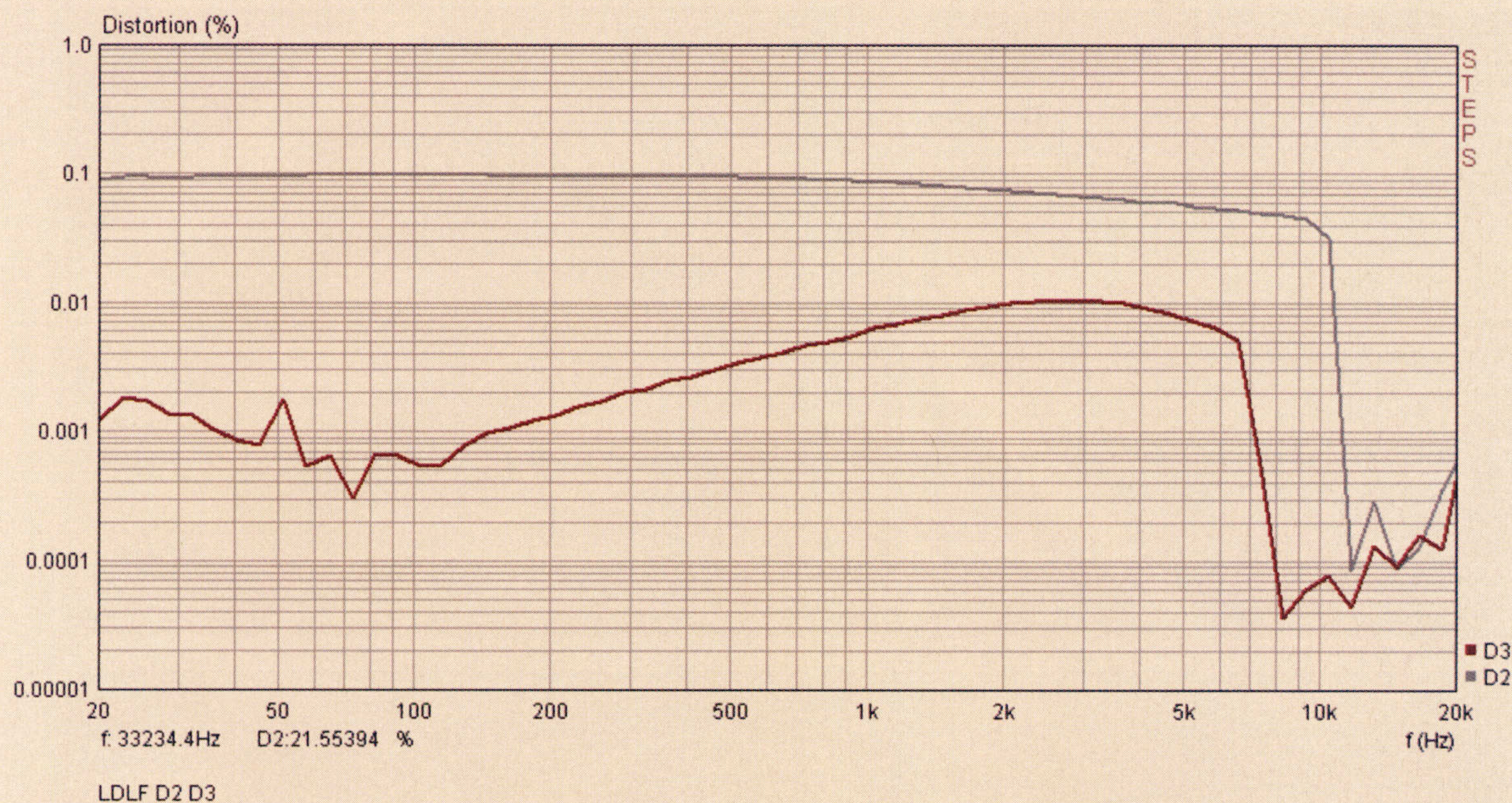




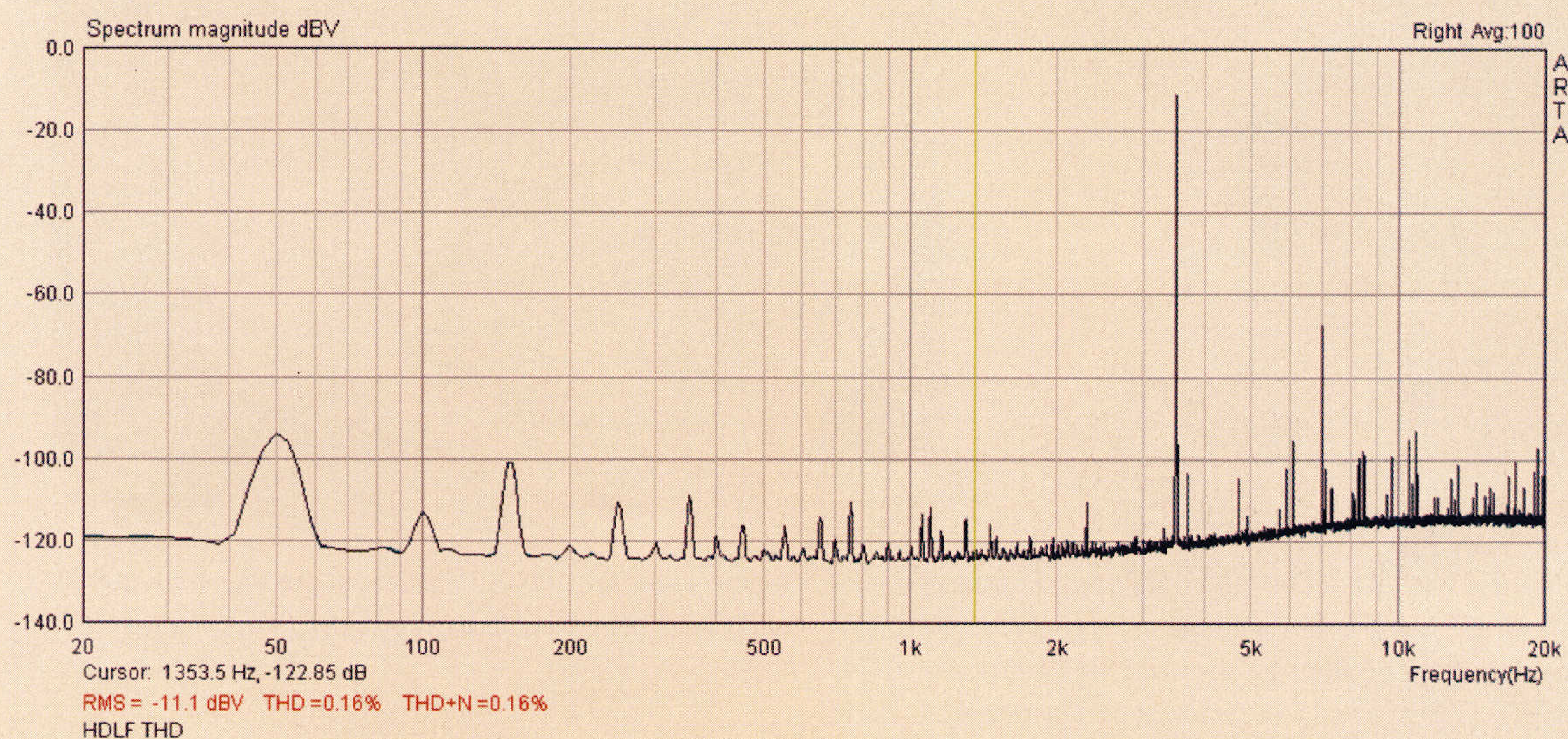
klinkt prachtig open en gedetailleerd. Dat komt vooral omdat de uitgang gekozen is aan de bovenste kathode en niet zoals gebruikelijk aan de onderste anode. Deze schakeling is uitgebreid onderzocht en beschreven door Menno van der Veen. Merk op dat de kathodeweerstanden R15 en R16 iets verschillende waarden hebben, wat voortkomt uit het onderzoek van Peter Dieleman. De balans (R10) en volumeregeling (R12) spreken voor zich en zijn al volledig geoptimaliseerd in de Vanderveen MCML05 voorversterker. De koppelcondensator C1=4μF aan de uitgang heeft een hoge capaciteit, waardoor de volgende belastingen het laagfrequente gedrag niet aantasten.
Rondom de kathodevolger V2b is een extra uitgang gebouwd. Hiermee kan volumegeregeld (R17) een extra eindversterker worden aangestuurd die het ongefilterde signaal ontvangt.

Actieve Filters

Om deze voorversterker als actief filter bruikbaar te maken heb ik per frequentiegebied een regelbare uit-



Figuur 5.
2-e en 3-e harmonische vervormingen van het HDLF



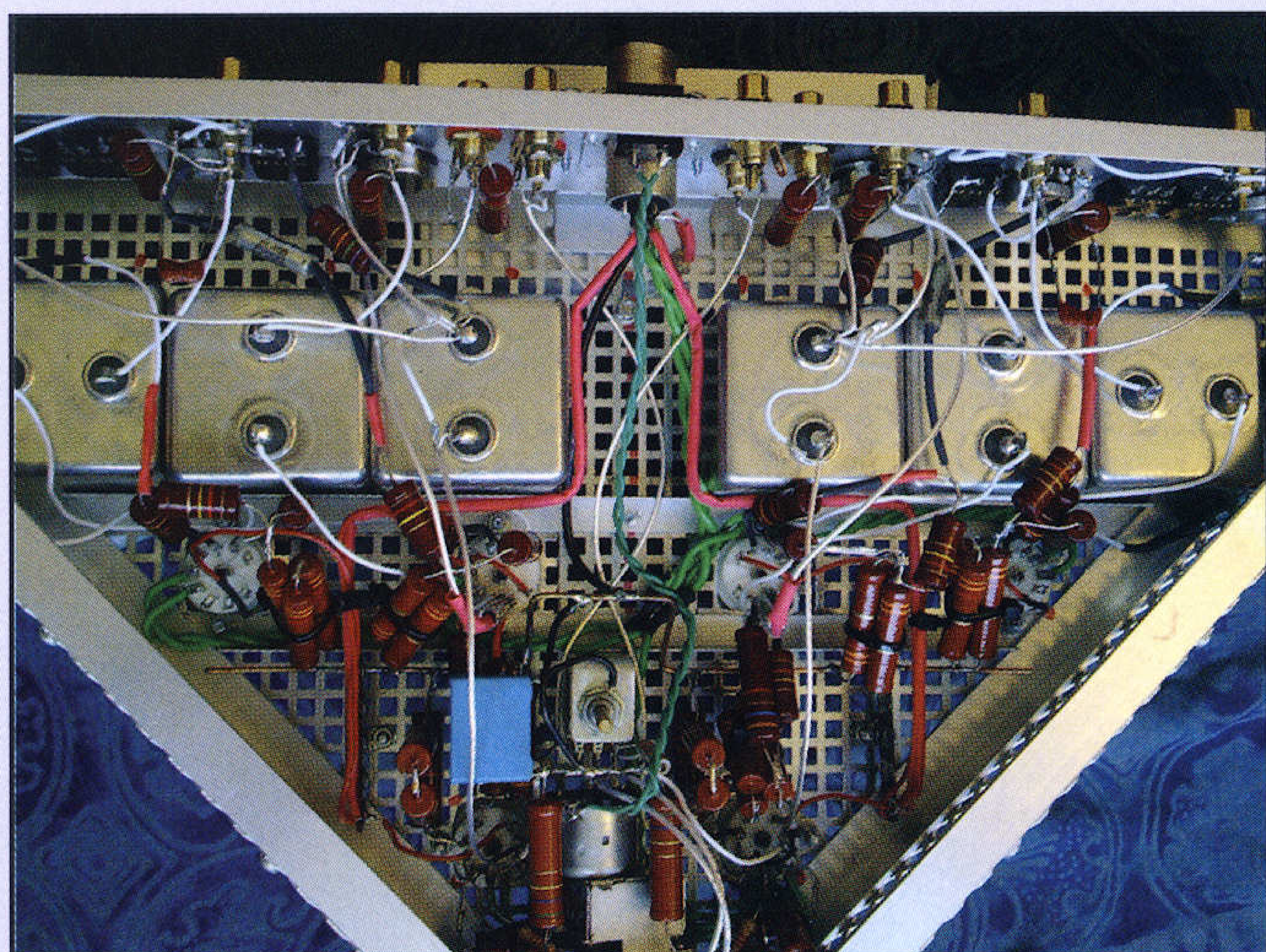
Figuur 6.
Spectrum van vervormingsproducten van 3,5 kHz plus brom en ruis.

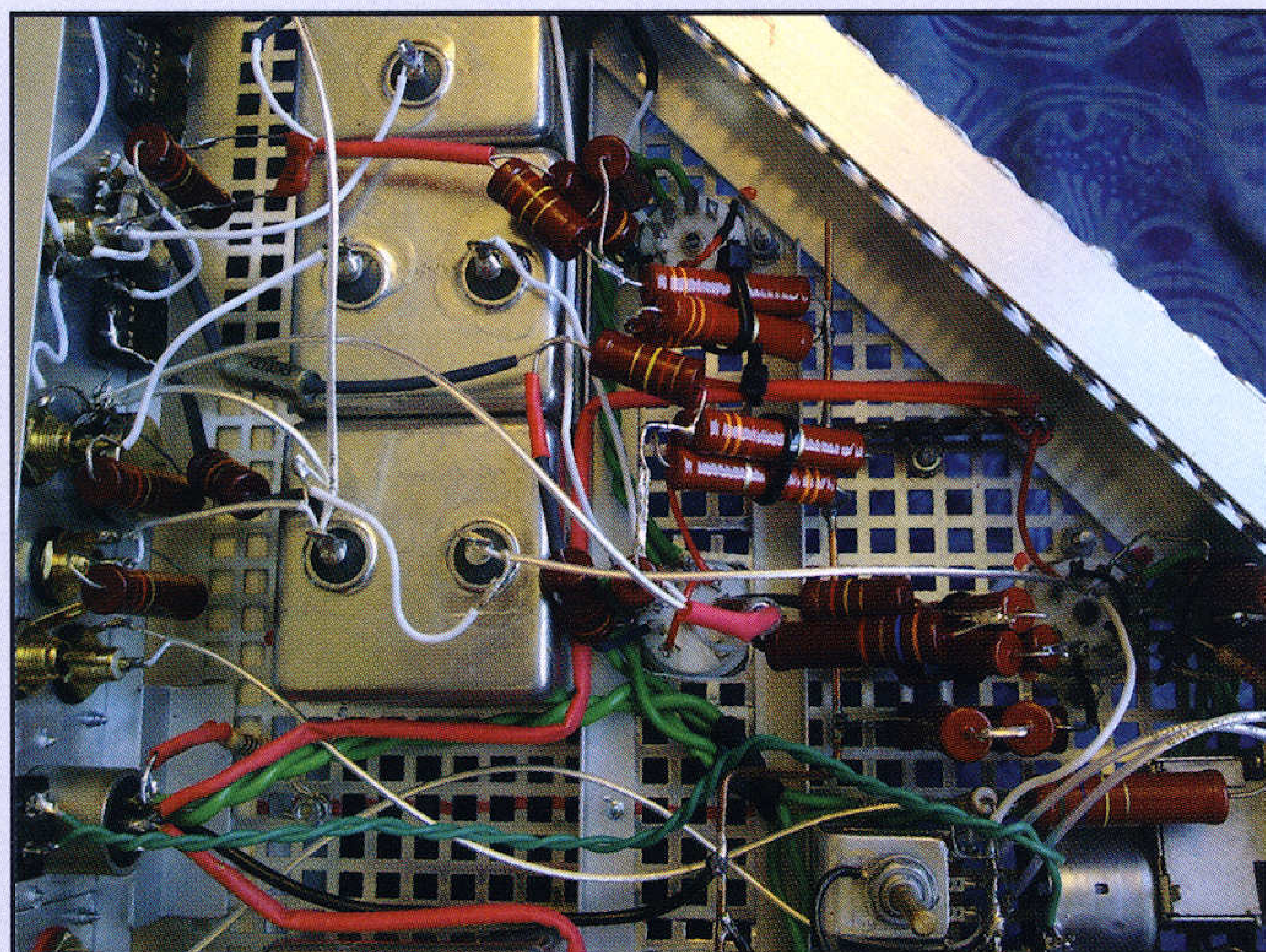
gangspanning en kantelfrequentie nodig. Daarmee is in combinatie met twee stereo eindversterkers en twee tweeweg luidsprekers een werkend systeem te maken. Afstellen van de kantelfrequenties van het HDLF en LDLF doe ik met het meetsysteem ARTA (zie 4). De respectievelijke volumes stel ik in met een 30 bands portabel meetsysteem, zodat de laagfrequente en hoogfrequente delen samen een vlakke frequentiekarakteristiek opleveren. Daarbij is een voorwaarde dat er minimale onderlinge beïnvloeding is tussen de volume en frequentie regelingen in het actieve filter.

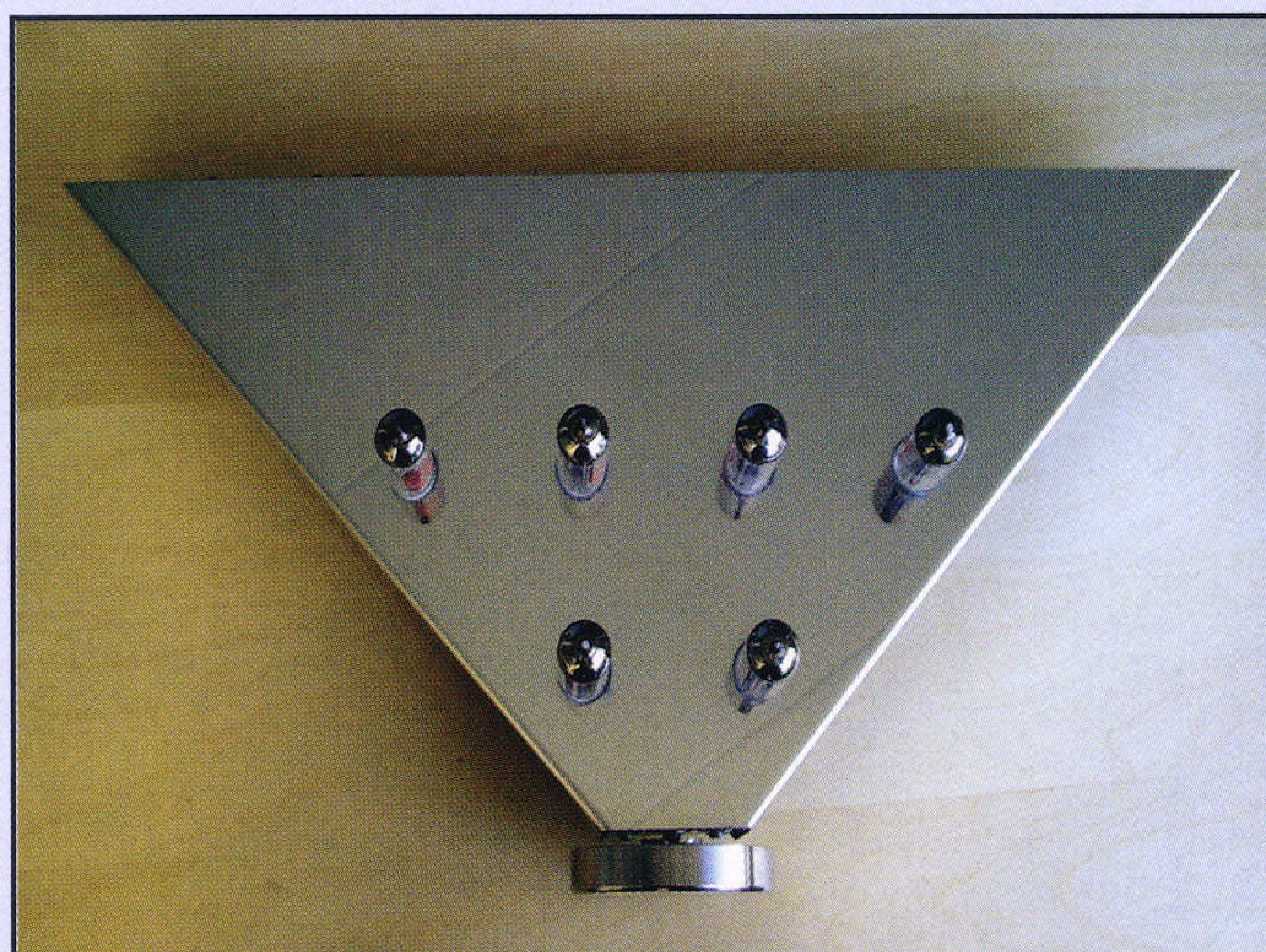
Ik heb gekozen voor eerste orde filtering door middel van een R-C of C-R schakeling. Deze zijn eenvoudig te maken en veroorzaken vrijwel geen faseverschuiving (maximaal slechts 90°). De twee filtersecties zijn opgebouwd met C4-R23-R24 en R31-R32-C7. Hierin zijn R24 en R32 beiden 100 kOhm potentiometers waarmee de -3dB filterfrequenties kunnen worden ingesteld. Deze frequenties vallen eenvoudig te berekenen met de bekende formule: $f_{-3} = 1/(2\times\pi\times R\times C)$. Het resultaat is een instelbereik van de kantelfrequentie van 2500 –













4500 Hz voor het LDLF en HDLF met de waarden van C4 en C7 zoals in het schema weergegeven. Door de formule te gebruiken en daarmee de waarden van C4 en C7 te berekenen kan men ieder instelbereik naar eigen wens maken.

De filtersecties worden gevolgd door een eigen volumeregelaar van 1 MOhm. Deze hoge impedantie zorgt er voor dat de ingestelde filterfrequentie nauwelijks (minder dan 10%) door de volumestand wordt beïnvloed.

Na de volumeregelaars volgen twee kathodevolgers (V3b en V2b) die er voor zorgen dat de daarop volgende eindversterkers op geen enkele manier de filtersecties kunnen beïnvloeden. Deze kathodevolgers stellen zichzelf in, maar hebben daarvoor koppelcondensatoren nodig (C5 en C8), evenals uitgangscondensatoren (C6 en C9).

De kwaliteit van deze koppelcondensatoren is heel belangrijk voor een goed eindresultaat. Op een open dag van TubeSociety vond onlangs een vergelijkende luistersessie plaats om het kwaliteitsverschil waar te nemen tussen verschillende typen condensatoren. Op grond van die proeven heb ik uiteindelijk gekozen voor papier in olie condensatoren in een stevige behuizing. Ik heb in de dump een groot aantal kunnen kopen, de kleine van 0,01 uF/400 V en de grote van 4 uF/600 V, allen zeer bruikbaar in mijn ontwerp.

Opbouw

De kast bestaat uit geperforeerde aluminium plaat en wat hoeklijn profielen. Gaten (5 mm) zijn er al; wegknippen van de vierkantjes, boren en vijlen leveren geschikte gaten om buisvoeten, potmeters en cinch aansluitingen te monteren. De roestvrij stalen cover schuif ik er laatste overheen en zet ik met vier schroefjes vast. De volumeknop maakt het geheel af; het geheel levert een modern en plat design.

Aarding

De aarde van de netstekker wordt via de voeding direct na binnenkomen in de voorversterker aan de aluminium kast verbonden. De audio ingangsaarde wordt bij de volume potmeter R12 aan de kast verbonden. De plus en min van de hoogspanningsvoeding worden aangesloten bij V1 en V2 en V3, omdat hier 14 mA per triode loopt en de aanvoer zo centraal en kort mogelijk blijft. Er is een korte verbinding gemaakt van de voeding min-aansluiting naar de ingangsaarde. Het bovenstaande is gebaseerd op het artikel van Guido Tent in de Elektor Audio Special van 2009. Verder is de gloeidraadspanning met twee 100 Ohm weerstanden aan de kast verbon-

den (direct na het binnen komen van de kast).
Het resultaat is dat ik geen brom meer waarneem. Ik hoor met mijn oren op 20 cm afstand of verder weg geen brom uit de luidspreker. Ruis heb ik niet waargenomen met mijn oor vlak voor de hoge tonen tweeter.

Meetresultaten

Ik heb gebruik gemaakt van het ARTA meetsysteem met USB geluidskaart aangesloten op een notebook. De metingen zijn verricht bij -11dBv om te garanderen dat de ingang van de geluidskaart niet overstuurd wordt.

In figuur 3 worden de karakteristieken van het hoog en laagdoorlaat filter gezamenlijk getoond. De ingestelde kantelfrequentie bedraagt hier 3,5 kHz. Het eerste orde filtergedrag is in deze meting goed te zien. Bij 20 kHz is enige afval herkenbaar, maar die zit in mijn geluidskaart en niet in het filter.

De figuren 4 en 5 tonen de vervorming die veroorzaakt wordt door de tweede en derde harmonischen. De hogere harmonischen verdwijnen in de ruisvloer van mijn geluidskaart, dus daar kan ik niks over melden; zie figuur 6. De totale vervorming is 0,07% THD (LDLF) en 0,16% (HDLF) en de ruis is < 0,01% van beide filters. Figuur 6 toont ook duidelijk aan hoe goed de hoogspanningsvoeding voor brom ontkoppeld is. De 50 Hz component ligt op -90dBv, en dat is prettig gering.

Luisterervaring en toekomst

Ik heb geluisterd naar mijn voorversterker zonder filtering en rechtstreeks aangesloten op een luidspreker met passief scheidingsfilter; dit noem ik "traditioneel". Daarnaast heb ik geluisterd naar de voorversterker plus twee eindversterkers voor mid-hoog en laag die de luidsprekers via hun eigen passieve filter aansturen; dit noem ik "bi-ampen". Ten slotte heb ik geluisterd naar de voorversterker met actief filter plus bijbehorende versterkers die de luidsprekers rechtstreeks zonder passieve filtering aansturen; dit noem ik "actief".
Het valt op dat een traditionele voorversterker een dynamiekverbetering geeft ten opzichte van geluidsweergave zonder voorversterker. Bij het bi-ampen treed al een grote verbetering op; vooral de laagweergave en detaillering worden veel beter. Met actieve filtering wordt het bovenstaande nogmaals verbeterd. De plaatsbepaling is veel beter en het lijkt wel of er een zweem van het geluid afvalt. Ademloos heb ik waargenomen hoe mooi het nu klinkt; alle rinseltjes (vervorming) en vooral de altijd aanwezige "sssssss" op de stemmen zijn verdwenen. Scherpte die al 1,5 jaar elke keer op loer lag is geheel weg. Ik werd er emotioneel van, het resultaat overtreft al mijn verwachtingen.
Merk overigens ook op dat door het gebruik van meerdere eindversterkers deze individueel minder vermogen hoeven te leveren en daardoor minder zullen vervormen. Het gebruik van goede weerstanden en condensatoren en interne signaalbekabeling heeft tevens een grote invloed op de kwaliteit van de voorversterker en dat is goed waarneembaar in de luistersessies.

De Dirigent is geschikt voor uitbreiding met een middenfilter (MDLF), wat het aansturen van een drieweg luidspreker mogelijk maakt. Daarvoor heb ik meer eindversterkers nodig en dat wordt mijn volgende project. Het ontwikkelen en bouwen van een Single Ended versterker van ongeveer 10W met een hele lage vervorming (zonder tegenkoppeling). Deze zal het zo belangrijke middengebied gaan versterken. De UL40-S2 in triode instelling wordt dan gebruikt voor de hoge tonen en de PR20HE eindversterkers voor de lage tonen. Ik zit nu al te smullen.

Referenties:

1: www.mennovanderveen.nl ; sectie Tubesociety
2: www.triodedick.com\componenten\condensatoren
3: Guido Tent: Storingen oplossen in buizenversterkers; Elektor Audio Special 2009
4: Arta: www.fesb.hr/~mateljan/arta
5: Voor vragen of opmerkingen: pieterson@vodafone.nl

Single ended KR300B stereo eindversterker

Door Satoru Kobayashi

De 300B triode van Dr. Kron is zwaarder uitgevoerd dan de standaard 300B. Satoru Kobayashi uit Japan haalt met een bijzondere hybride aansturing zelfs 20 Watt uit deze stevige buis.

Ruim voor de zomervakantie van 2010 nodigde de eindredacteur mij uit om een ontwerp voor de Elektor Audio Special in te sturen. Ik keek naar de vele ontwerpen die ik in het verleden al had gemaakt. Zou ik daar eentje uit kiezen of zou ik een nieuw ontwerp gaan maken? Ik besloot voor dat laatste, want ik had een interessante triode in handen gekregen van mijn hoofdleverancier Tec-Sol: de Kron KR300B (zie 1). Deze buis kan in single ended toepassing een vermogen van ongeveer 20 Watt leveren. Dat is fiks meer dan de gemiddelde 10 Watt die men uit een standaard 300B buis haalt. Als ik de versterkingingang uitvoer met Opamps kan ik een goede gebalanceerde ingang maken die past bij mijn voorversterker en ik kan iedere gewenste versterkingsfactor gemakkelijk instellen. Daarbij hoef ik me geen zorgen te maken over vervorming en frequentiebereik, want dat is bij de moderne Opamps allemaal prima voor elkaar. De krachtige (ondergewaardeerde) 6BX7 dubbeltriode kan uitstekend als SRPP stuurtrap de eindbuis aansturen in een laag impedantie instelling, waardoor het frequentiebereik groot wordt en de vervorming laag blijft. Voeg ik daar de VDV-3035SE ringkern uitgangstrafo aan toe, dan is een groot frequentiebereik gegarandeerd. Ik ben niet van plan om tegenkoppeling toe te passen, want de ervaring heeft mij geleerd dat die de menselijkheid van het geluidsbeeld aantast. Als ik de voeding afzonderlijk buiten de versterker plaats, dan haal ik sowieso het voordeel van lage brom en het biedt mij de mogelijkheid om later de voeding nog te verbeteren, bijvoorbeeld met stabilisatie. Bij mij in de buurt zit een uitstekende fabrikant van kasten (2). Ik hoef maar een goede tekening in te sturen en het wordt voor me gemaakt. Ik heb het CAD design programma EAGLE waarmee ik gemakkelijk printen kan ontwerpen, die ik in China laat maken.

Alles bij elkaar genomen: er staat mij niets in de weg om met een kompleet nieuw ontwerp voor de dag te komen. Dat wordt in dit artikel besproken.



KR300B

Deze bijzondere triode wordt in Tsjechië gemaakt door KR Enterprice, opgericht door Dr. Kron. De buis heeft de dubbele capaciteit van een gewone 300B. Zie tabel 1 voor een vergelijk met een Svetlana 300B, die overigens ook al redelijk zwaar is uitgevoerd.

Een gewone 300B kan 25 W anode dissipatie verwerken en maximaal 450 V verdragen op de anode. Uit de tabel wordt duidelijk dat de KR300B veel meer kan hebben. De Kr-versie heeft een prachtige glasballon en de anode is groter en zwaarder dan bij de standaard 300B. Tabel-2 laat mogelijke instellingen van de buizen zien voor de single ended klasse A1 instelling.

De versterker

In figuur 1 wordt het schema van de versterker getoond.

Opvallend is dat het ingangscircuit met Opamps is uitgevoerd. Ik vind die IC's uitmuntend werken en zie geen enkel probleem om ze met buizen te combineren. Met "hybride" is niets mis; denk maar aan de auto industrie. Het eerste IC is een speciale gebalanceerde ingang, type INA134-TI van Bur Brown. De versterkingsfactor daarvan is 1 maal. De volgende Opamp, type OPA604-TI van Bur Brown, versterkt het signaal ongeveer 7 maal. De beide Opamps worden gevoed met een voeding van plus en min 20 V. Via een weerstand van 22 Ohm gaat het versterkte signaal vervolgens rechtstreeks naar het stuurrooster van de onderste helft van de 6BX7. Een koppelcondensator is hier echt niet nodig, want de DC-offset van de Opmps bedraagt hoogstens enkele mV en daar ligt de 6BX7 niet wakker van. Mocht de 6BX7 onverhoopt kapot gaan en doorslaan, dan beschermt de 22 Ohm weerstand ook nog de Opamps.

De schakeling rondom de 6BX7 is niet helemaal SRPP, anders was immers het uitgangssignaal afgetapt van de bovenste kathode. Van der veen adviseerde mij om bij de onderste anode te koppelen, omdat dit "menselijker" klinkt, en mijn proeven beaamden dat. De voedingsspanning bedraagt 570 Vdc, terwijl de ruststroom 20 mA is met de kathodeweerstanden van 1k2. Deze gegevens verklaren waarom ik de stevige 6BX7 gekozen heb die een maximale anodedissipatie van 10 W per triode kan verdragen. De schakeling is ontzettend simpel en alle bijbehorende componenten kunnen rechtstreeks op de buisvoet gesoldeerd worden. De maximale uitgangsspanning bedraagt 220 Vpp en dat is voldoende om de KR300B aan te sturen.

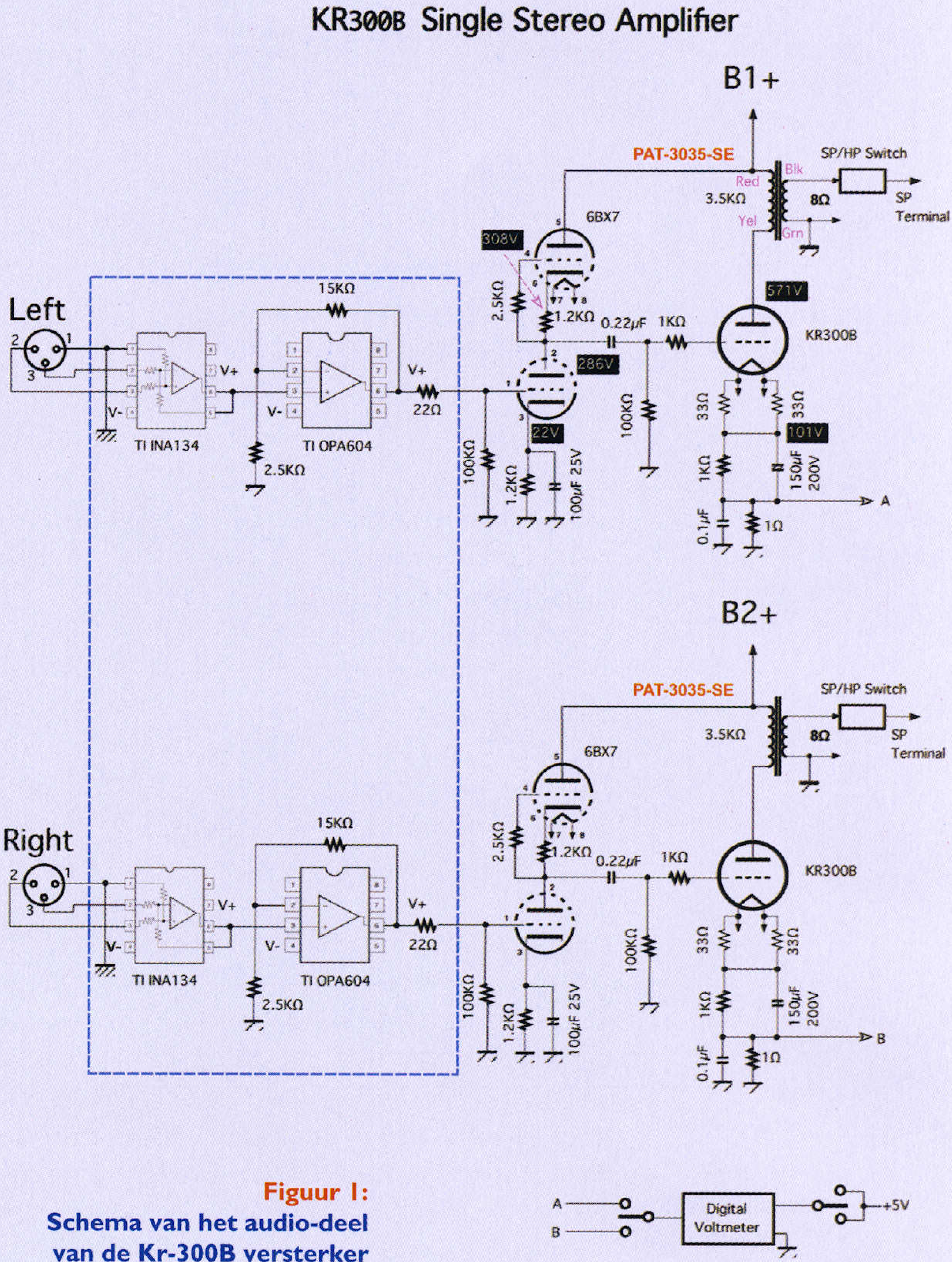
De KR300B eindbuis wordt met zijn kathodeweerstand ingesteld (ongeveer 1 kOhm, 10 W) terwijl de ruststroom (ongeveer 85 mA) gemeten kan worden over de onderste 1 Ohm weerstand. Dit doe ik met een digitale voltmeter. Verderop bespreek ik hoe door de keuze van de kathodeweerstand de vervorming geminimaliseerd kan worden. De ringkern uitgangstrafo staat aangegeven met zijn Plitron nummer. Voor Europa geldt: Amplimo-VDV-3035-SE (3).

Parameters	KR300B	SV300B
Filament Voltage	5V	←
Filament Current	1.2A	←
Maximum Plate voltage	550V	450V
DC Plate current	120mA	100mA
Plate Dissipation	50W	40W
Transconductance	6.2mA/V	5.5mA/V
Plate Resistance	630 Ω	700 Ω
Amplification Factor	3.9	3.85
Weight	105g	70g

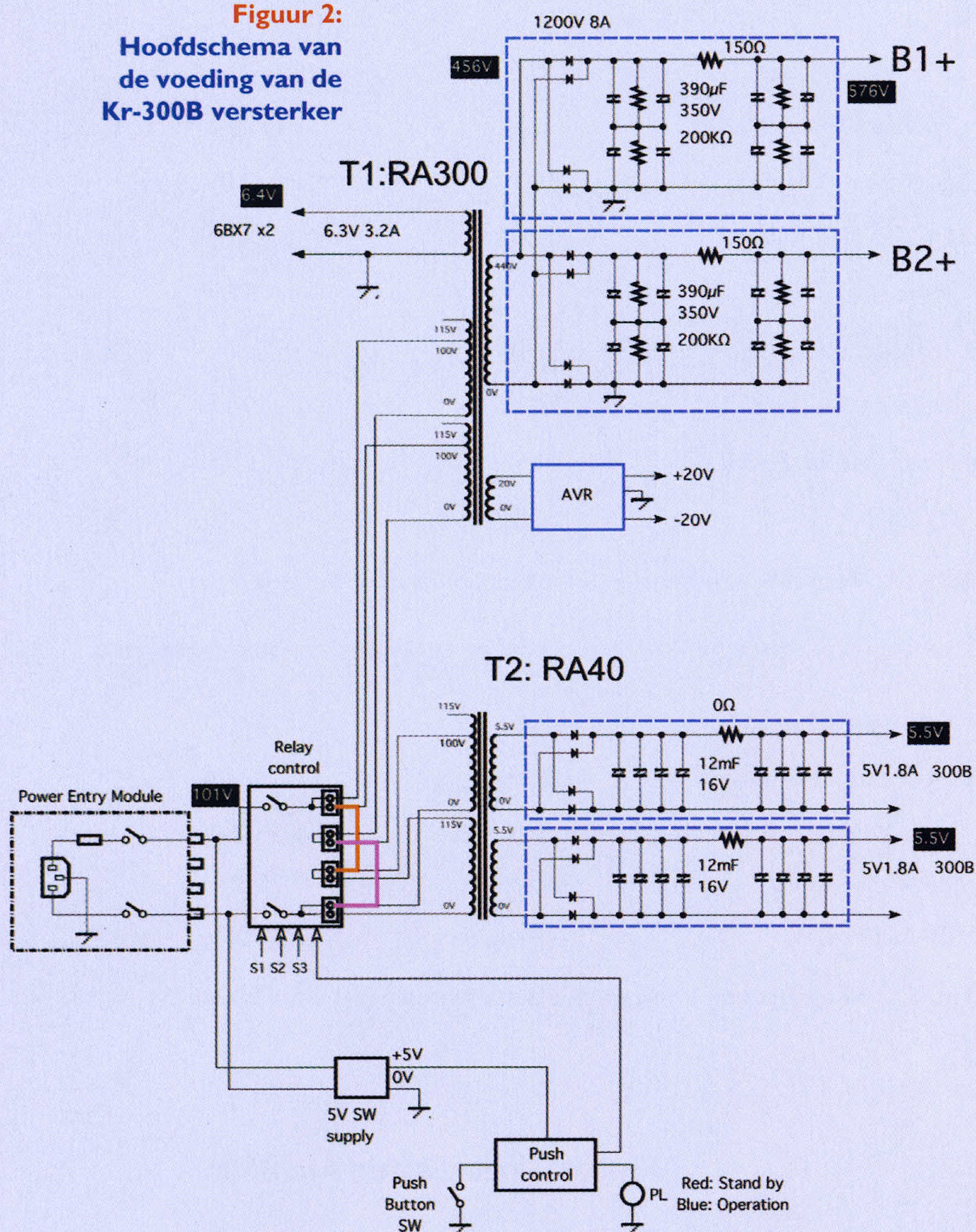
Tabel 1: Vergelijk van Kron en Svetlana 300B specificaties.

Parameters	KR300B	SV300B
DC plate voltage	450V	450V
DC Plate current	100mA	60mA
Grid voltage	-90V	-100V
Peak grid drive	180Vpp	200Vpp
Output Power	18W	10W

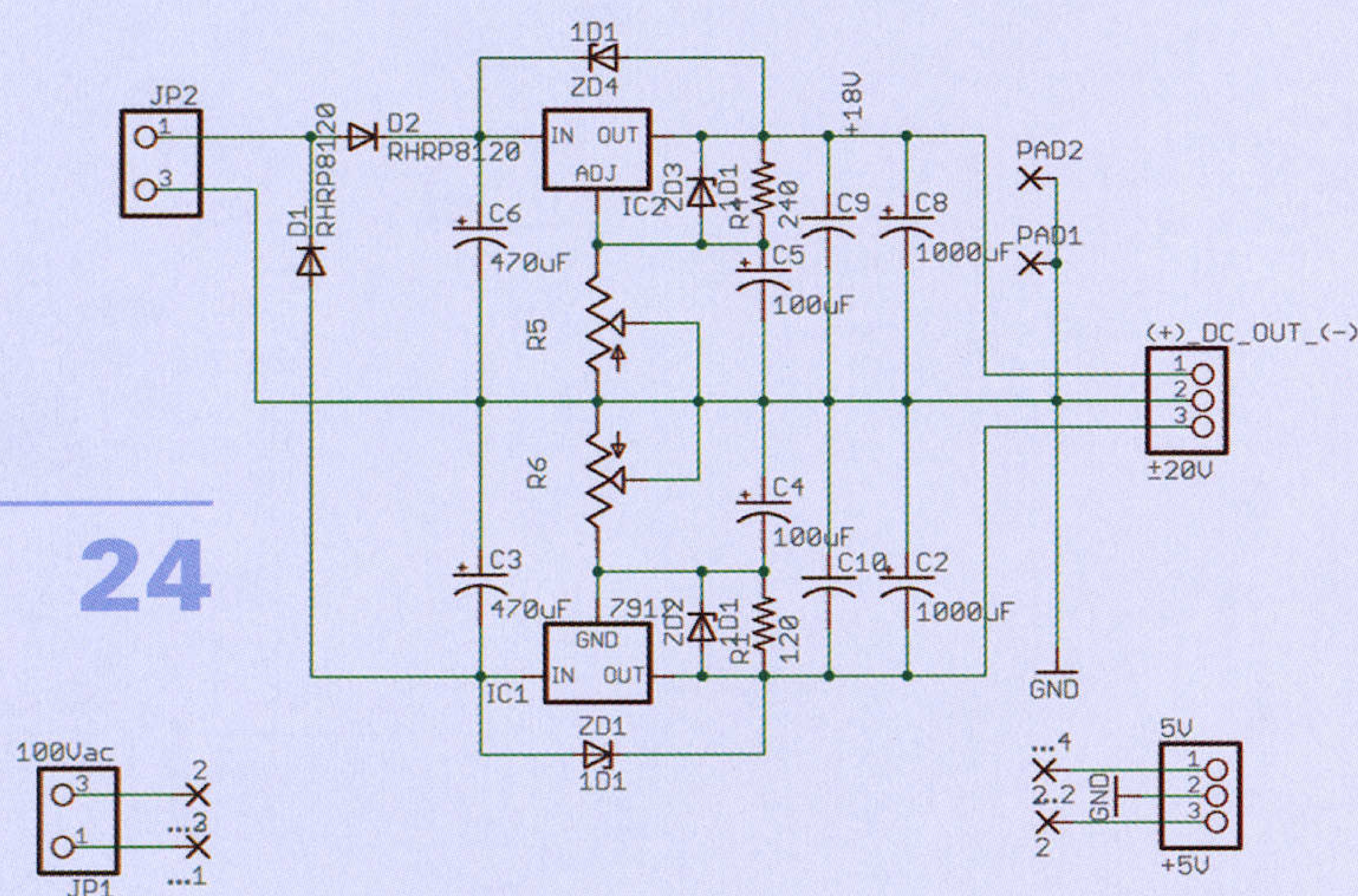
Tabel 2: Vergelijk van Kron en Svetlana instellingen voor klasse A1



Figuur 1: Schema van het audio-deel van de Kr-300B versterker



Figuur 2: Hoofdschema van de voeding van de Kr-300B versterker



TITLE: ±20V-supply	
Document Number:	REV:
Date: 10/09/10 8:53	Sheet: 1/1

Figuur 5: Voedingsschakeling voor de Opamps.

Voeding

De voeding is redelijk uitgebreid en staat getekend in figuur 2.

Ik maak daar gebruik van R-kern transformatoren, gemaakt door Phoenix Technology Japan (4). Hiermee wordt de hoogspanning (570V) gemaakt en de +/- 20 V voor de Opamps en de 5 V gloeidraden van de 300B buizen. De 5 V voeding voor de aan/uit drukschakelaar is een kleine schakelende voeding die ik ergens op de rommelmarkt heb gekocht. Zulke schakelingen, met relais en logica en aansturing zijn hier als standaard printjes beschikbaar. Zie figuren 3 en 4 voor een indicatie van de schematuur van zulke elektronica.

De diodes van de gelijkrichting zijn speciale typen: Fairchild 1200V PIV-8A. Dit zijn zogenaamde hyper diodes met ultra korte hersteltijd.

De hoogspanningsvoeding is met stevige elco's uitgevoerd, terwijl de p-schakeling met de 150 Ohm 15 W weerstand de rimpelspanning heel klein maakt. Hiervoor kan natuurlijk ook een smoorspoel worden gebruikt. Elk kanaal heeft zijn eigen hoogspanningsvoeding, startend met dezelfde wikkeling (440 V) op de transformator. Deze dubbele uitvoering zorgt voor voldoende scheiding tussen de twee kanalen en verhindert voedingsoverspraak.

Voor de voeding van de gloeidraden van de eindbuizen wordt een afzonderlijke trafo gebruikt. Na gelijkrichting volgen 8 elco's van 12.000 mF. Hiermee wordt de rimpelspanning meer dan voldoende onderdrukt. Met de weerstand die aangegeven is met 0 Ω kan zo nodig onder belasting de gloeispanning exact op 5,5 V worden afgeregeld.

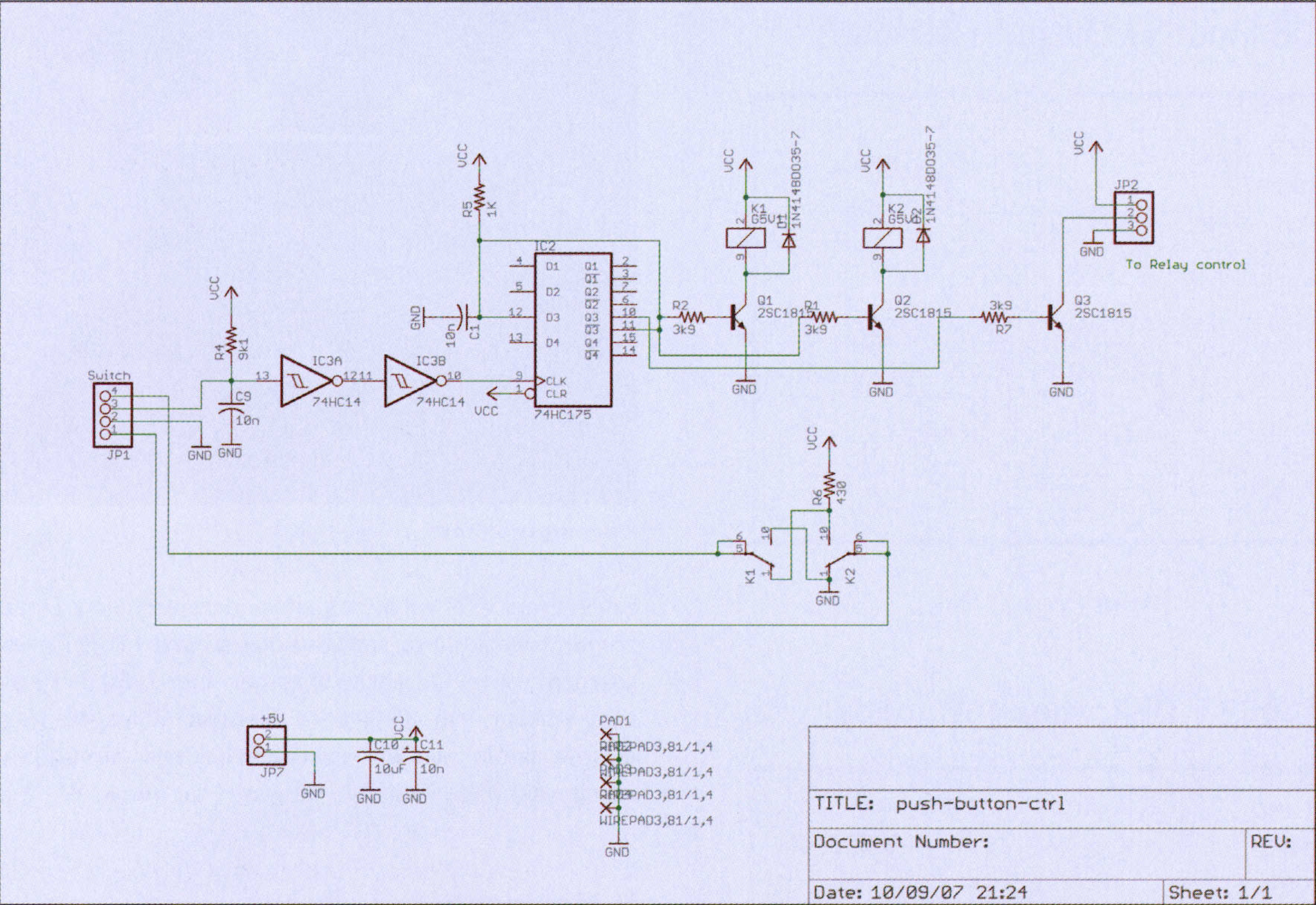
De voeding van +/-20 V voor de Opamps wordt afgebeeld in figuur 5. De schakeling betreft een afregelbare stabilisatie en spreekt voor zichzelf.

Werkpunt van de KR300B

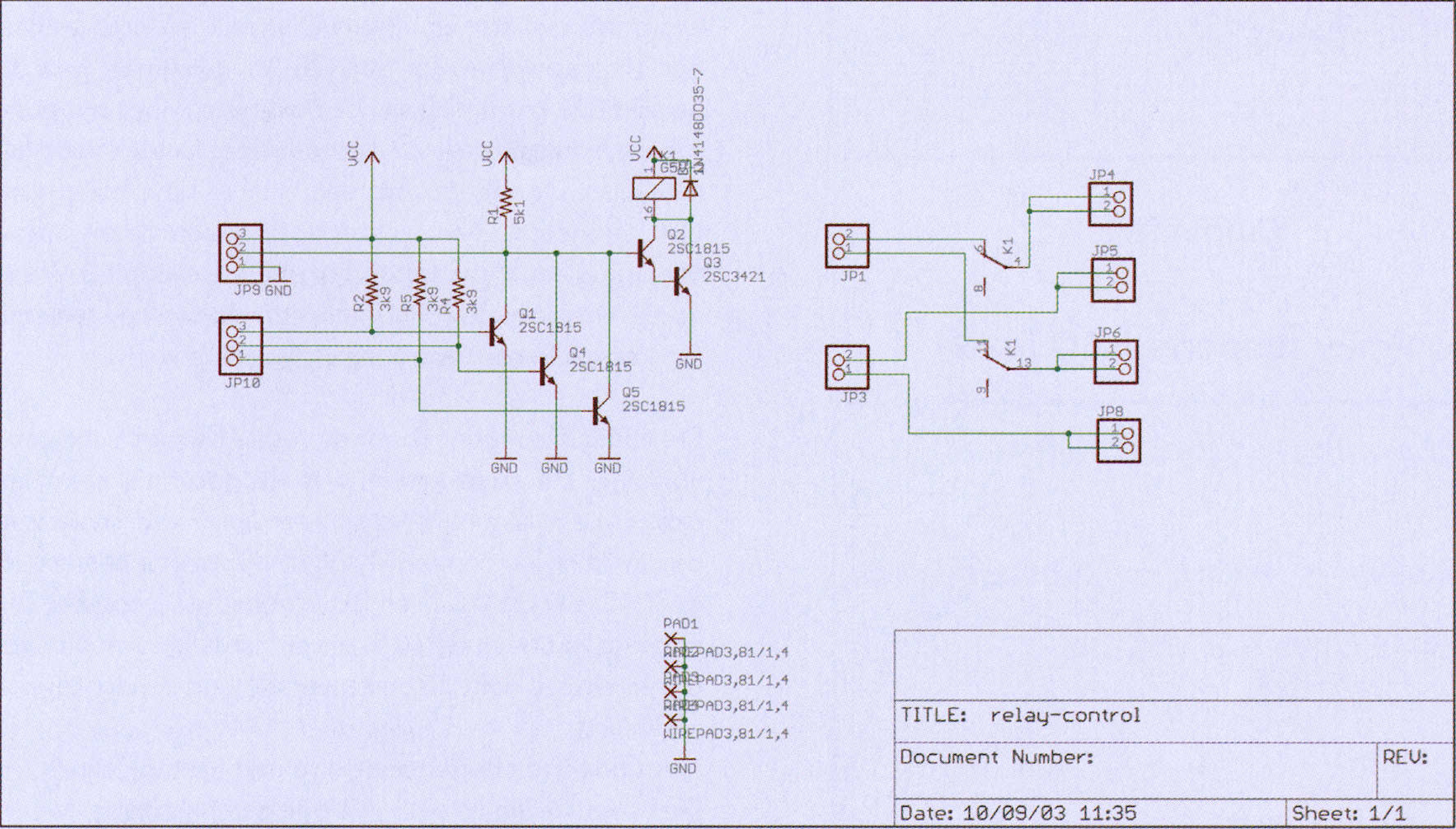
Met een normale 300B weet je uit je hoofd waar het instelpunt moet liggen: 450 V; 50 mA; Vg=-100 V. Maar met de KR300B ligt de situatie anders en heb je de nieuwe karakteristieken (downloaden bij 1)) nodig om een optimaal werkpunt te vinden. Bij een hoogspanning van 480 V en een stroom van 85 mA moet het rooster op ongeveer -100 V staan. De uitgangstrafo vraagt namelijk om die optimale 85 mA ruststroom. De kathodeweerstand wordt dan ongeveer 1k2. Neem hiervoor minstens een 10 W type. De voedingsspanning bedraagt dan totaal 480V + 100 = 580 V, wat de grootte van mijn hoogspanningsvoeding verklaart. Ik ben met 1k2 kathodeweerstand gestart, maar hieronder laat ik zien dat een andere waarde betere resultaten geeft.

Ik heb de kathodeweerstand verschillende waarden gegeven en steeds de ruststroom en het maximum vermogen en de vervorming gemeten. Ik kwam daarbij tot de volgende tabel 3.

Het optimum wordt bereikt bij Rk = 840 Ohm, maar de buis is door de te hoge anodedissipatie een kort



Figuur 3: **Schematuur drukknop netschakelaar**

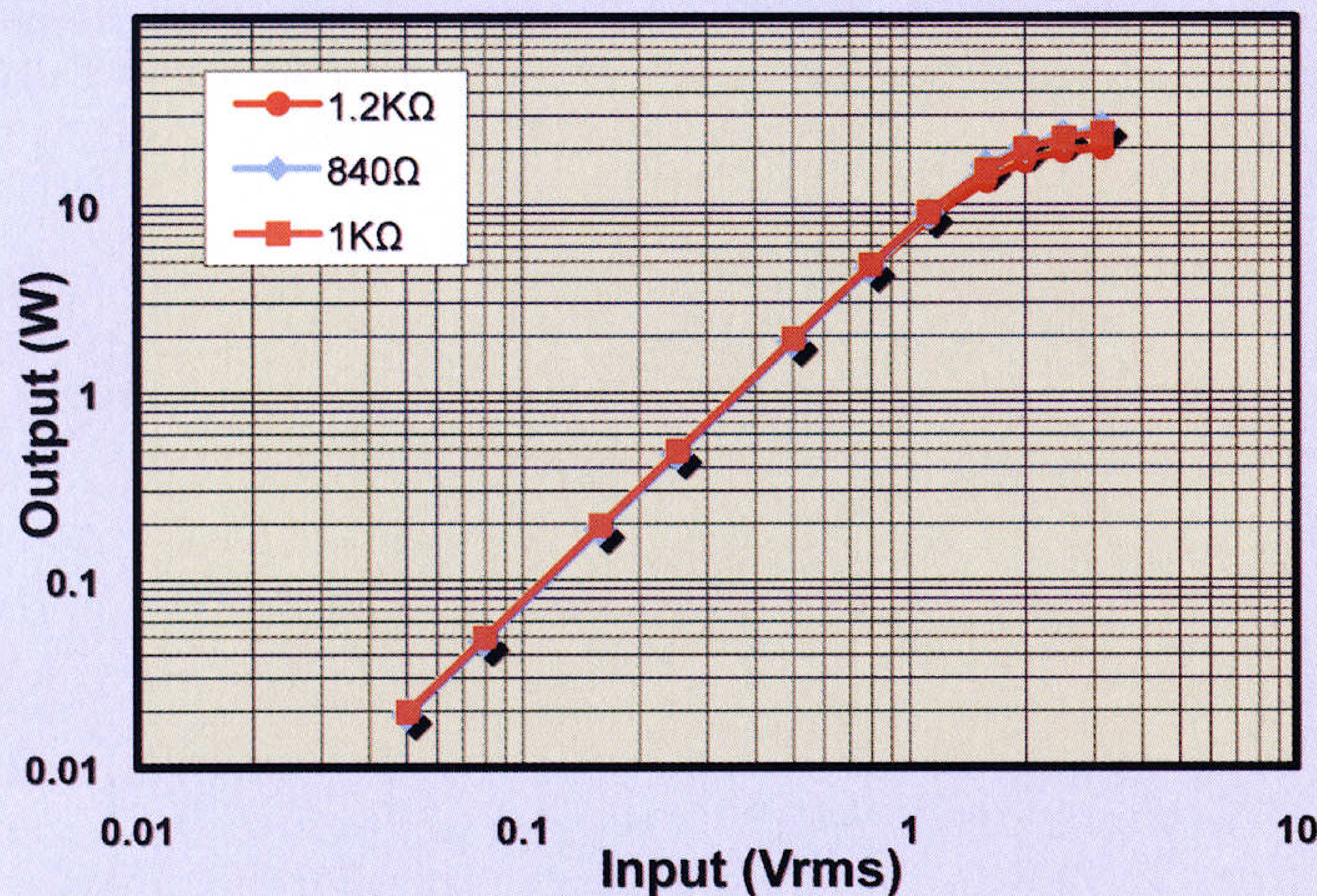


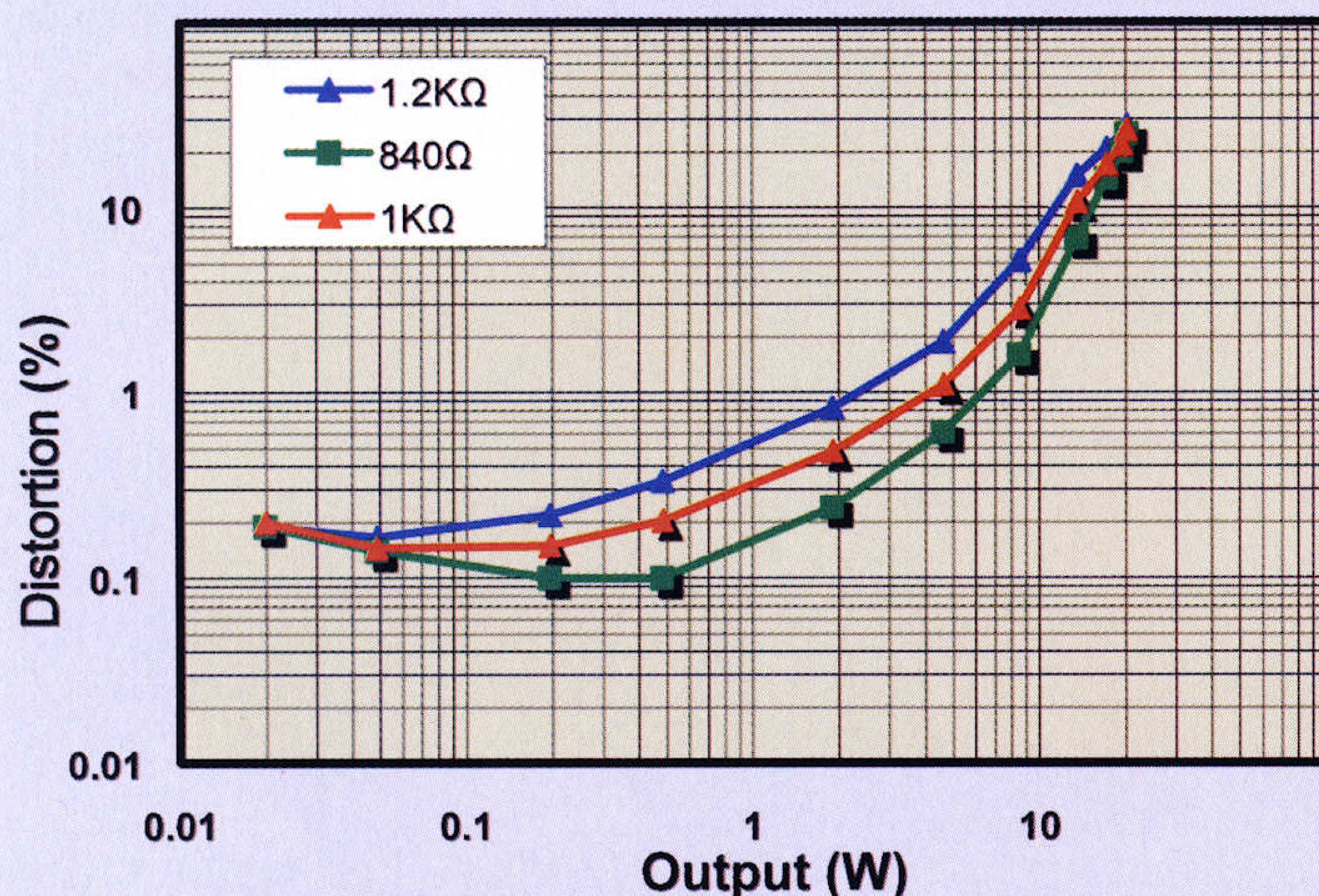
Figuur 4: **Schematuur relaissturing**

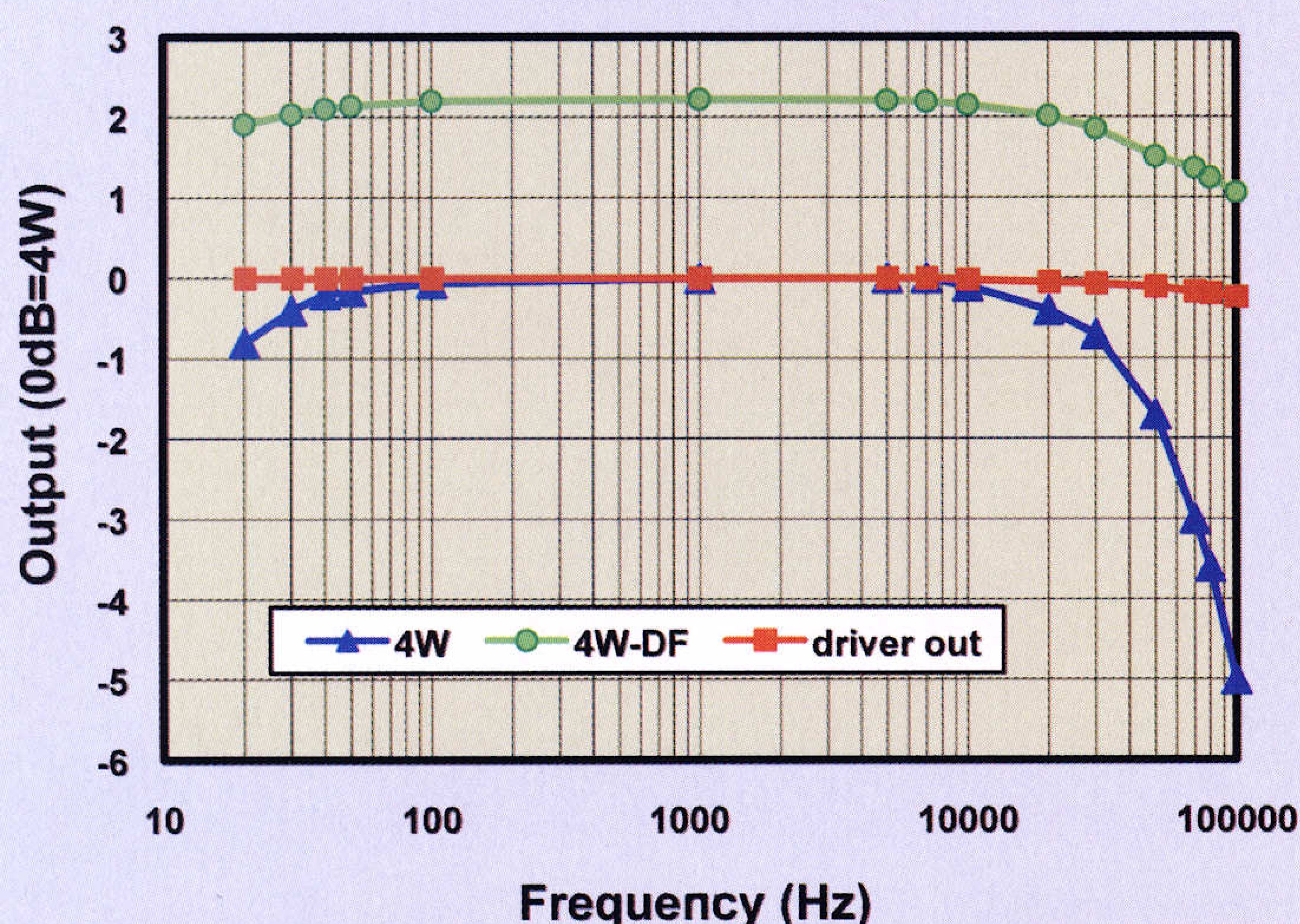
leven beschoren. Daarom heb ik als finale keuze een kathodeweerstand van 1kOhm genomen, zoals aangegeven in het schema. De dissipatie van deze weerstand bedraagt $0{,}095^2 \times 1000 = 9$ W; neem minstens een 10 W versie; 20 W is beter. De uitgangstrafo schrijft volgens zijn specs een ruststroom van 85 mA voor, maar hij is gelukkig zo overgedimensioneerd dat hij de ruststroom van 95 mA probleemloos verdraagt.

Kathode weerstand	1.2KΩ	1KΩ	840Ω
THD bij 2W	0.8%	0.35%	0.14%
Ruststroom	84mA	95mA	110mA
Anode dissipatie	39.5W	44.7W	51.7W
Marge tov $P_{a,max}$	-21%	-11%	+3.4%
Pout	Nagenoeg geen verschillen		

Tabel 3: **THD en Pmax en Io bij verschillende Rk-waarden.**



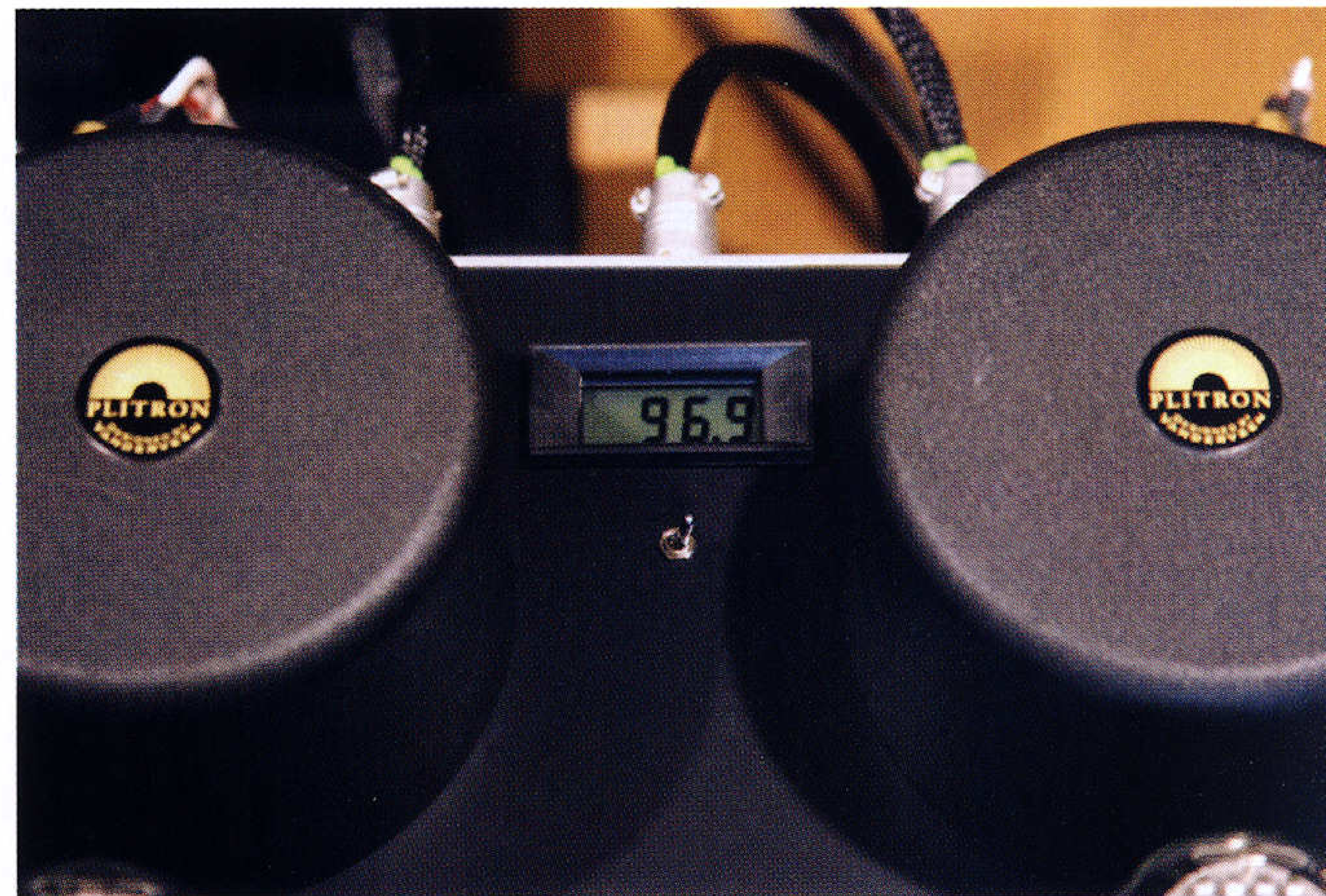




Figuur 6: Van boven naar beneden: lineariteit, THD en f-bereik

Opbouw

De printen die ik heb gebruikt zijn bij mij te bestellen (5). Ook ben ik graag bereid om eventuele vragen nader te beantwoorden. Ik kan zo nodig ook een complete componentenlijst en werktekening van de kasten toesturen. Voor de rest spreken de vele foto's hun duidelijke taal; ik denk dat de nabouw weinig problemen op zal leveren. Wel wil ik nog iets anders vertellen. Deze zomer, toen ik de versterker bouwde, was het in Tokio extreem warm. De warmste zomer sinds 1950 met een temperatuur van 35 graden Celsius; 40 dagen lang duurde dat. In mijn werkruimte heb ik geen airconditioning maar alleen een fan. En warm dat het was!



Current-monitor

Metingen

In figuur 6 staan drie belangrijke metingen weergegeven. De bovenste meting betreft de lineariteit als functie van de ingangsspanning. Welke waarde de kathode weerstand van de KR300B heeft maakt niet zoveel uit. De krommes overlappen elkaar. Duidelijk is zichtbaar dat het uitgangsvermogen van 20 W maximaal wordt bereikt. De kromming aan de bovenkant vindt zijn oorsprong in het gebruik van kathodeweerstanden voor de auto-bias. Doe je dit met een actieve schakeling, dan blijft de meetlijn een rechte. Voor maximale uitgangspanning is een ingangsspanning van ongeveer 1,5 Vrms nodig. Vergroot de 15 kOhm weerstand van de tweede Opamp als je een lagere ingangspanning wenst.

De middelste meting toont de totale harmonische vervorming. De rode kromme is de door mij gekozen balans tussen laagste vervorming en lange levensduur van de eindbuis. Zo rondom 1 W, dat is waar je luistert, is de THD slechts 0,3 % en dat is volledig acceptabel. Bij Pmax ga je boven de 10 % uit en dat is op zich niet zo erg en typisch voor SE buizenversterkers zonder tegenkoppeling.
Het onderste plaatje toont drie metingen tegelijk.
De bovenste lijn (groen) geeft de dempingsfactor weer en die is nagenoeg constant rondom de waarde 2. Dat is niet veel, opnieuw typerend voor buizenversterkers zonder tegenkoppeling. Desondanks klinkt de bas stevig en heel beheerst en snel.
De rode lijn geeft de frequentiekarakteristiek van de Opamps plus 6BX7 trap. De frequentiekarakteristiek daarvan is een "plaatje".
De blauwe lijn geeft de karakteristiek van de gehele versterker, alles incluis. De hoogste -3dB frequentie ligt bij 70 kHz zonder enige nare resonanties; de afval is homogeen stabiel tweede orde, wat iets zegt over de nauwkeurigheid waarmee de uitgangstrafo is ontwikkeld en gebouwd.



Evaluation setup

In figuur 7 staat afgebeeld hoe sinus en blokgolf signalen door de versterker worden behandeld. Opmerkelijk is dat er van geen enkele uitslingering of resonantie sprake is. De signalen zijn volkomen "schoon" en stabiel. Opnieuw zegt dit iets over de kwaliteit van de uitgangstrafo.

Ook brom en ruis heb ik nog gemeten aan de luidsprekeruitgang. De gesommeerde waarde daarvan is kleiner dan 3 mVrms. Met het oor vlak voor de luidspreker is ietsje zachte "donkere" brom hoorbaar, hoofdzakelijk een 100 Hz component. Op 50 cm afstand van de luidspreker hoor ik geen enkele brom meer.

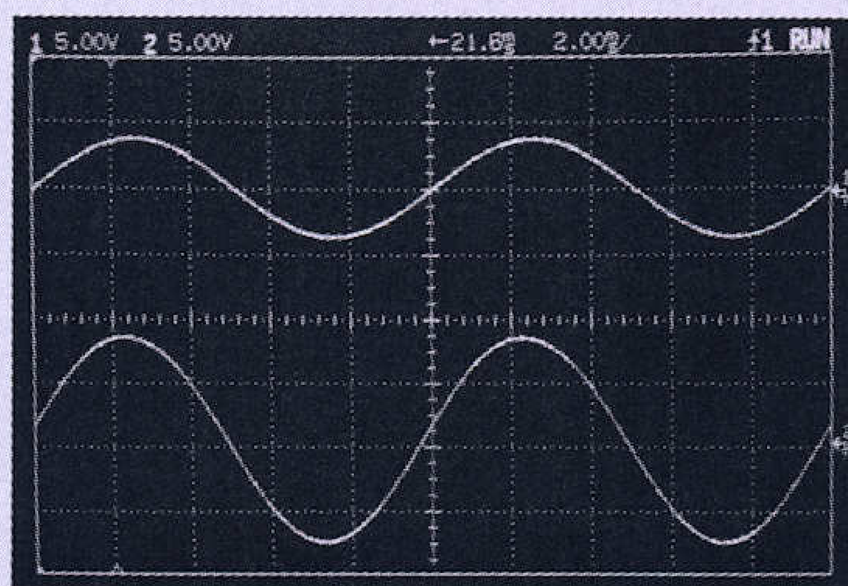
Luisterindruk

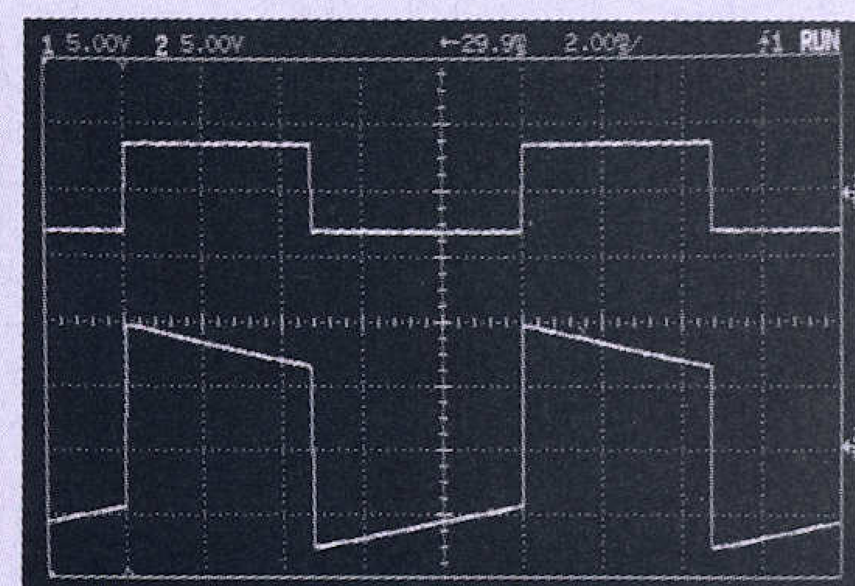
Ik heb nu 20 W tot mijn beschikking en dat is goed hoorbaar in vergelijk met 300B versterkers die 10 W kunnen leveren. Ik kan nu zelfs voldoende luidheid krijgen met luidsprekers die een laag rendement hebben. Mijn testen heb ik gedaan met mijn eigen gebouwde luidsprekers met een Aurum woofer en een ribbon tweeter. Opvallend daarbij is de stevige laagweergave, die met gemak opbokst tegen een JBL woofer van 38 cm diameter. Deze versterker klinkt luid en doortekend tot in het diepe laag. De hoge tonen weergave is fantastisch gedetailleerd, of ik het nu weergeef via mijn luidspreker of via een monitor van Genelec. Vooral hese vrouwenstemmen klinken doorleefd en levensecht. Ik heb nu al heel wat uren naar deze versterker geluisterd. Zang, jazz instrumentaal, j-pop, klassieke muziek; noem maar op. In al die uren heb ik niets van enige luistermoeheid waargenomen. Het geluidsbeeld is natuurlijk en levensecht en aangenaam.



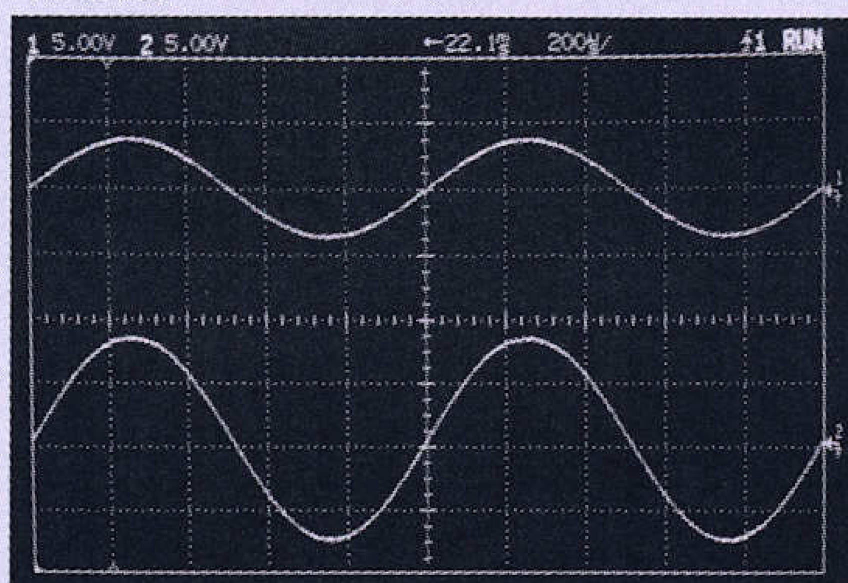
Waveform @≈6W 6Ω load

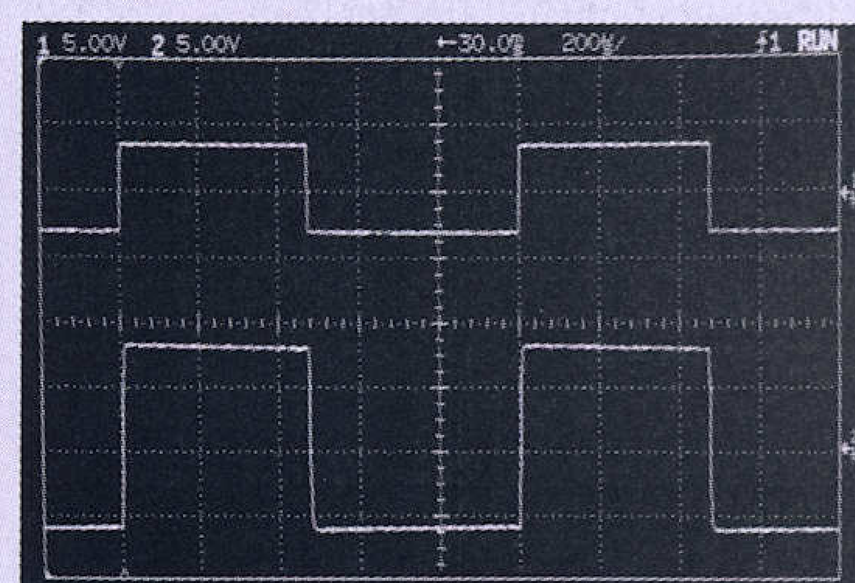
100Hz



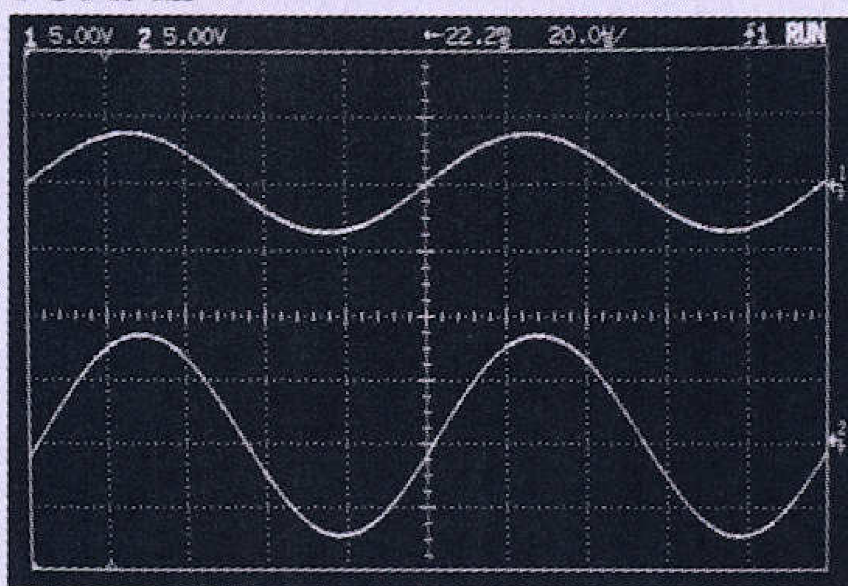


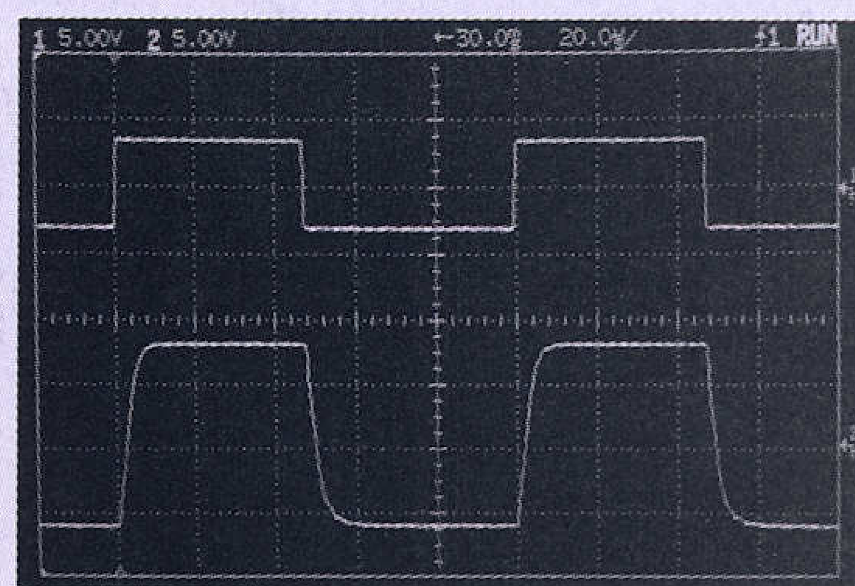
1KHz





10KHz





Figuur 7: Sinus en blokgolf weergave bij 100 Hz, 1 kHz en 10 kHz.

Referenties:

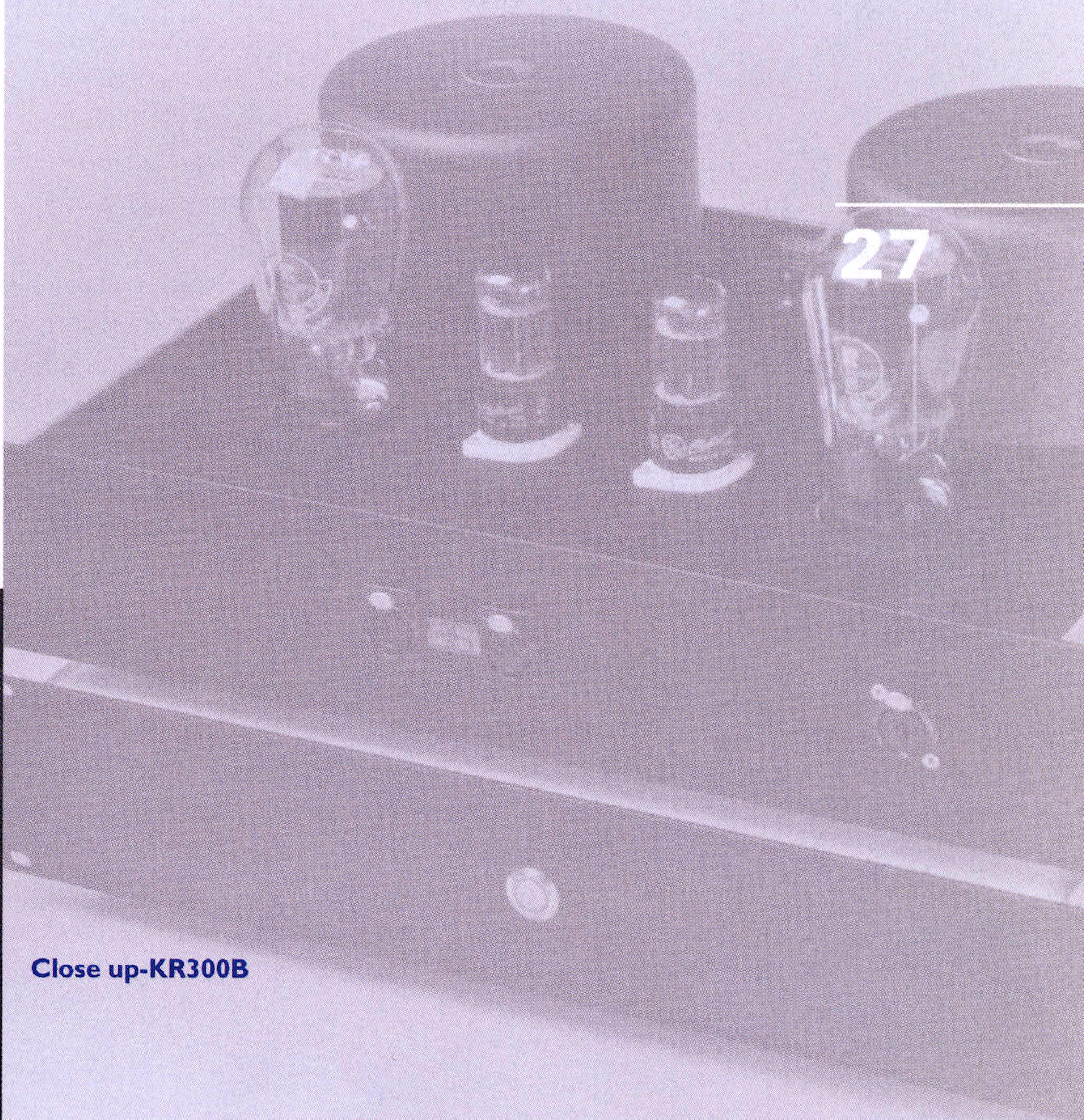
1) www.tec-sol.com

2) http://www.ss-musen.co.jp/ ; http://www.takachi-el.co.jp/data/h_english/eng

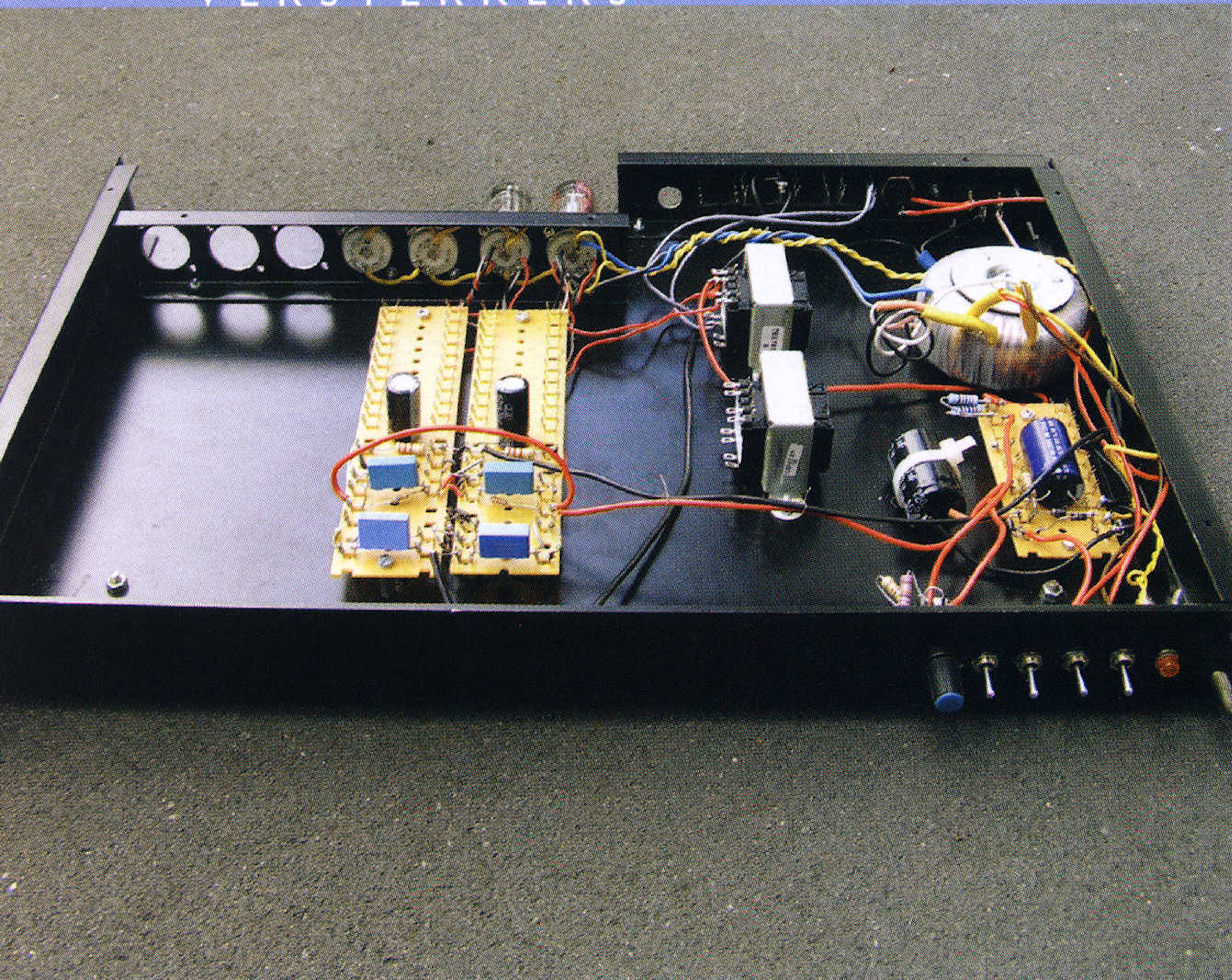
3) www.amplimo.nl

4) www.pnxcorp.co.jp/index1.htm

5) n_koba@kb4.so-net.ne.jp (alleen Engels of Japans)



Close up-KR300B



1 Watt gitaar-versterker voor huiskamer

DOOR LEON BEMMELMANS

Elektrische gitaarversterkers hebben voor huiskamergebruik niet veel vermogen nodig, maximaal 1 Watt is meer dan genoeg. Dit artikel gaat over een klein vermogen gitaarversterker voor in de woonkamer. Fiks overstuurbaar en daardoor uiterst klankrijk op laag volume.

Als jongen van 12 heb ik tot groot verdriet van mijn ouders mijn vrijwel nieuwe Western gitaar ingeruild tegen een elektrische gitaar van het merk Emperador, uitgerust met een jankpookje. Door schade en schande leerde ik toen dat een elektrische gitaar geen muziekinstrument is. Het enige wat zo'n ding voortbrengt is nauwelijks hoorbaar getingel. Het echte instrument "elektrische gitaar" wordt gevormd door een samenspel van gitaar, voorversterker, eindversterker, luidspreker(s), luidsprekerbehuizing en de akoestiek van de ruimte. Het helpt ook nog als je een beetje kunt spelen.

Dit lijkt een open deur, want iedereen snapt wel dat een plankje hout met snaren geen zaalvullend geluid kan produceren. Niet iedereen beseft echter dat de andere onderdelen van de gitaarketen op hun eigen manier het geluid kleuren en vormen, en dus niet alleen versterken. Sluit een gitaar maar eens aan op een hifi-installatie en je begrijpt onmiddellijk het verschil tussen "versterken" van een gitaarsignaal en "(ver)vormen" van een gitaarsignaal.

Er zijn tal van combinatiemogelijkheden van gitaren, versterkers en luidsprekerkasten, ieder met hun eigen akoestische kenmerken en kwaliteiten. Dan heb ik het niet eens over de talrijke effectpedaaltjes. Smaken verschillen, en zo zal iedereen zijn eigen perfecte sound in gedachten hebben.

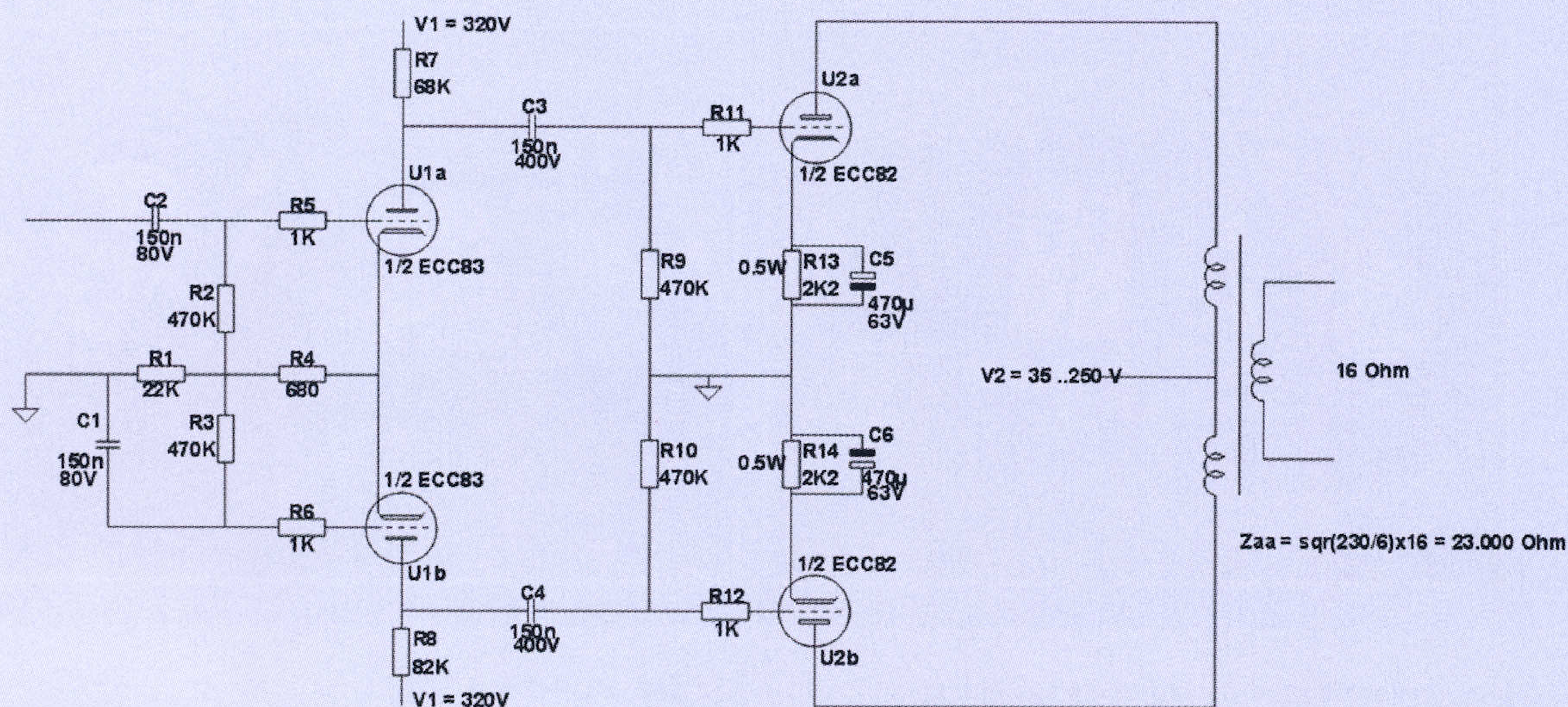
Helaas wordt mijn "perfecte sound" gevormd door een Les Paul aangesloten op een Marshall buizenversterker en om echt lekker te klinken staat ie bijna vol open. Helaas, want ik ben een echte huiskamer gitarist en krijg de meeste inspiratie rond 23.00 uur 's avonds. Het ideaal "bijna vol open" wordt in de praktijk "bijna volledig dicht". Van de ideale klank blijft dan niet veel meer over. Aan de gitaar en de (buizen) voorversterker zal het niet liggen. Die blijven hun werk al vanouds doen. De voorversterker zorgt voor vervorming van het gitaarsignaal; zelfs een schone voorversterker vervormt in de regel al meer dan 5%. Ook regelt de voorversterker de toneshaping, waarmee de toonregeling voor of na de vervormingtrappen wordt bedoeld.

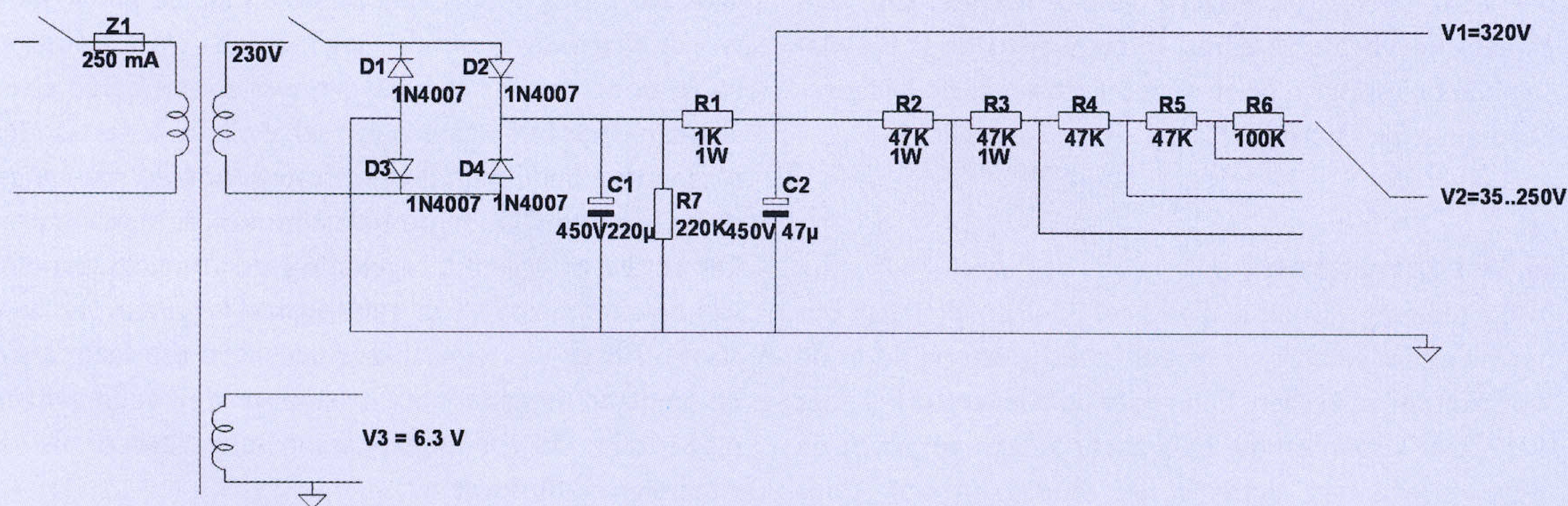
Wat op laag niveau heel anders wordt is de muzikale bijdrage van de eindversterker, van de luidspreker en van de luidsprekerbehuizing. Een gitaarluidspreker is vanuit hifi-oogpunt vreselijk slecht ontworpen. Het frequentiebereik is zeer beperkt, slechts 5 kHz, er treedt vanwege de afmetingen veel bundeling van het geluid op, als de kast open is zit er nauwelijks laag in, en als de kast gesloten is zit er een duidelijke resonantie in. Maar belangrijker nog: hij vervormt snel, en de luidsprekerbehuizing wekt zelf geluidsgolven op; je hoort de kast. Dat raak je voor een deel kwijt bij lagere geluidsniveaus. Het grootste verschil in geluid wordt veroorzaakt door de (buizen) eindtrap van de gitaarversterker.

Eindversterker

Op het eerste gezicht wordt de klank van de versterker bepaald door de voorversterker, en heeft de eindversterker vooral de taak om het kleine signaaltje om te zetten naar een signaal met voldoende vermogen om een luidspreker aan te kunnen sturen. In de jaren 90, toen 19 inch rekken in de mode waren, was dat soms ook zo. Een buizen voorversterker werd toen bijvoorbeeld gecombineerd met een 300 W stereo Mosfet versterker.

Maar de meeste gitaarliefhebbers blijven voorkeur hebben voor een buizen eindversterker. Het blijkt dat



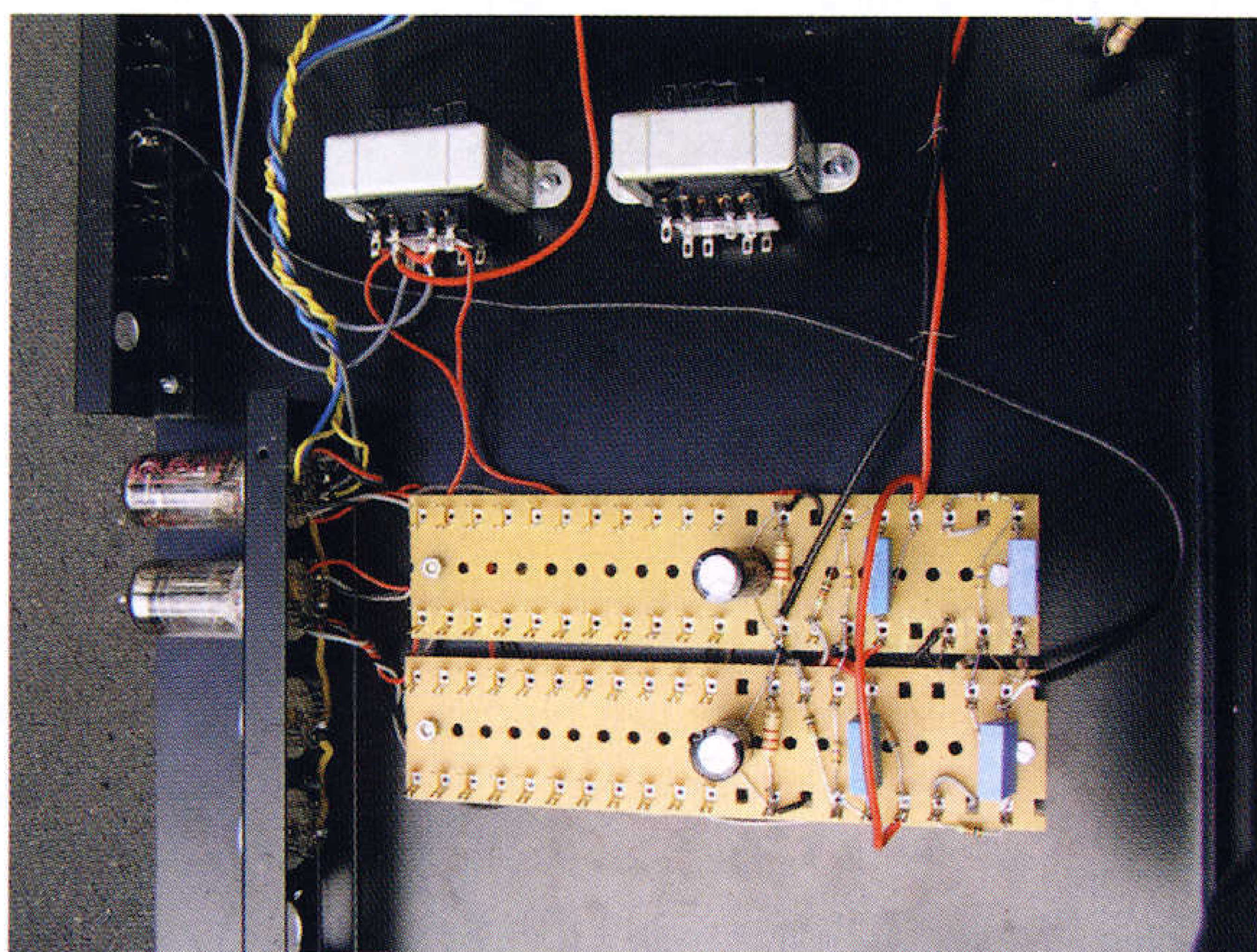


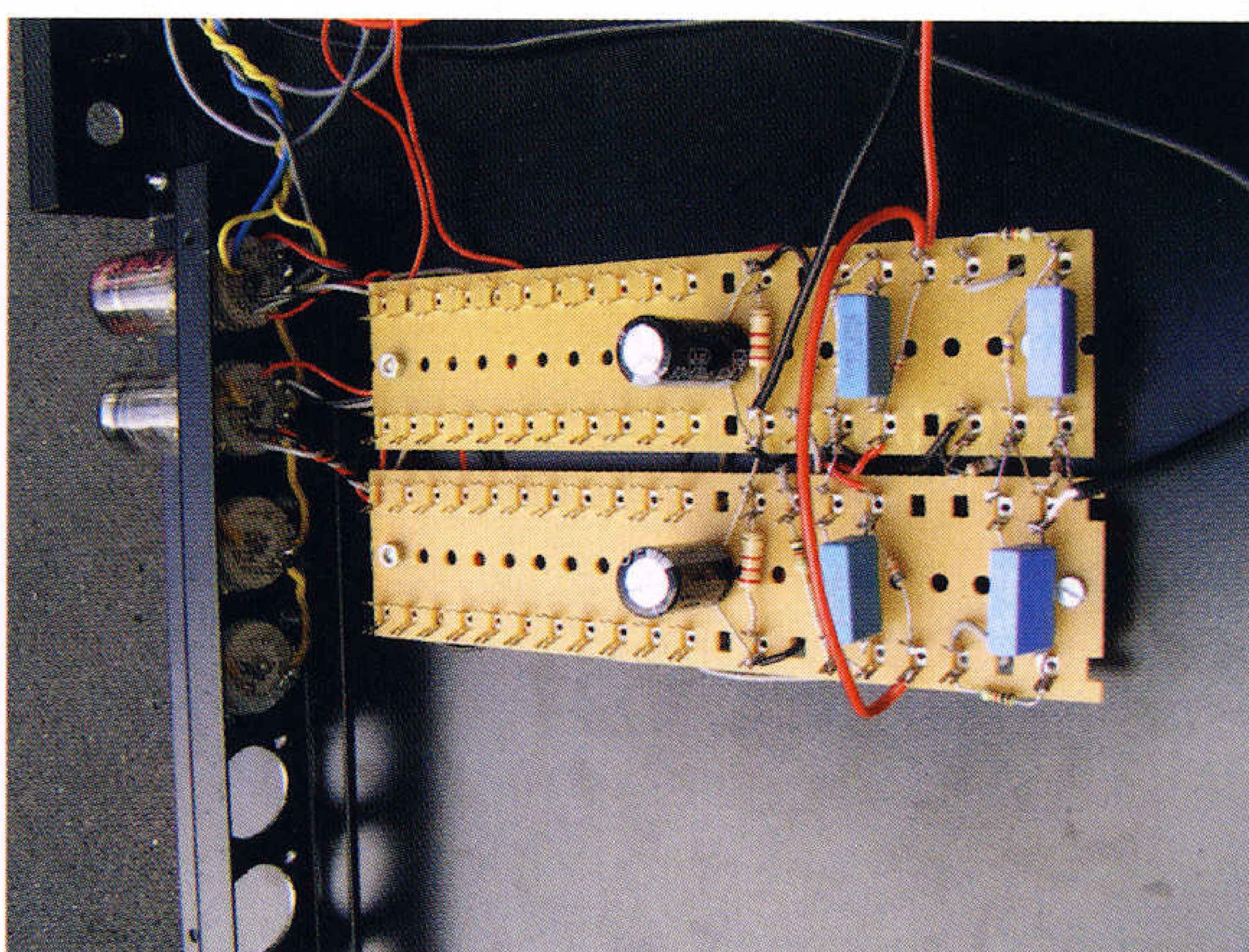
Figuur 1.
1W gitaar eindversterker

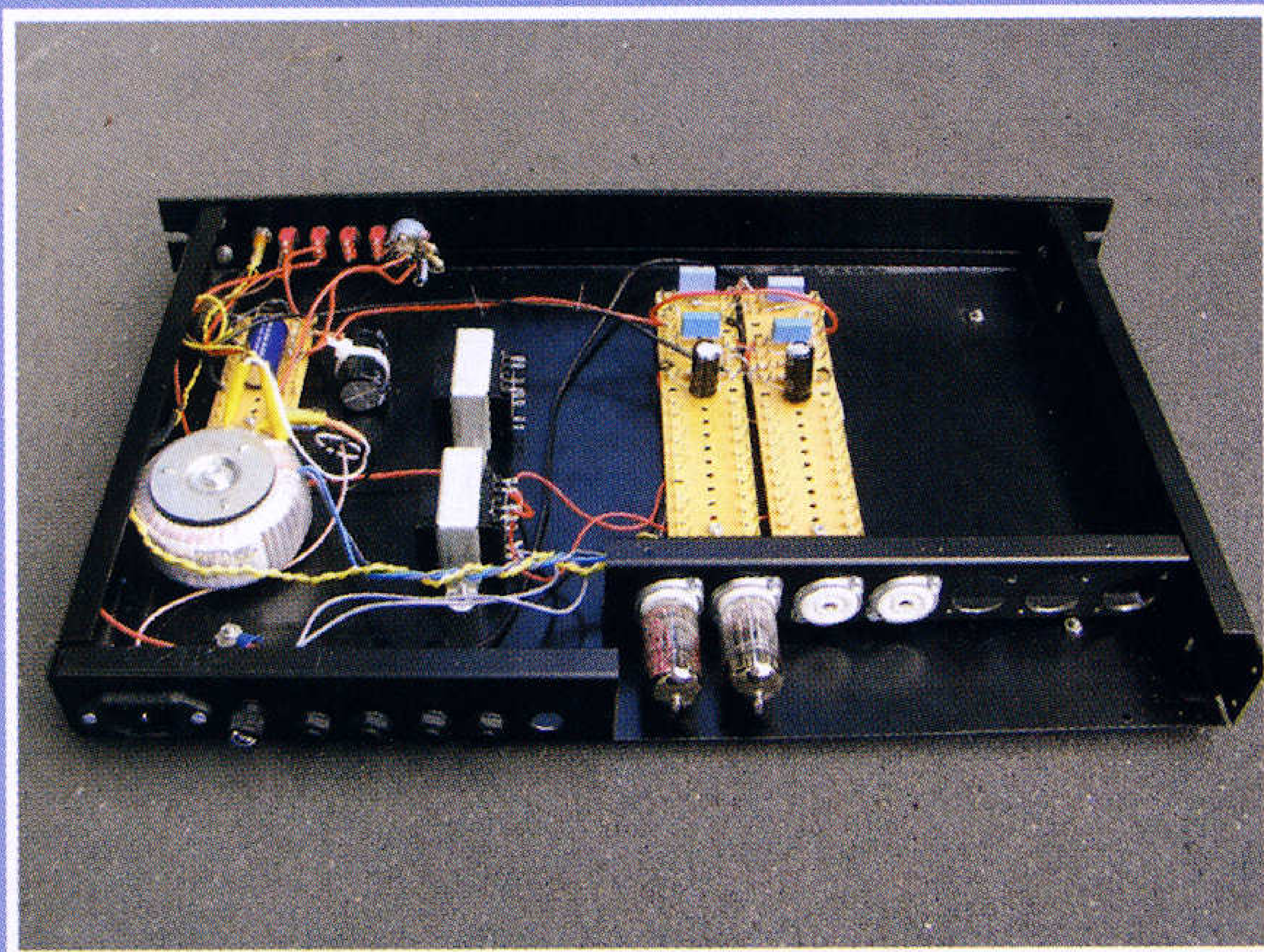
Figuur 2.
Voeding voor de 1W gitaar eindversterker

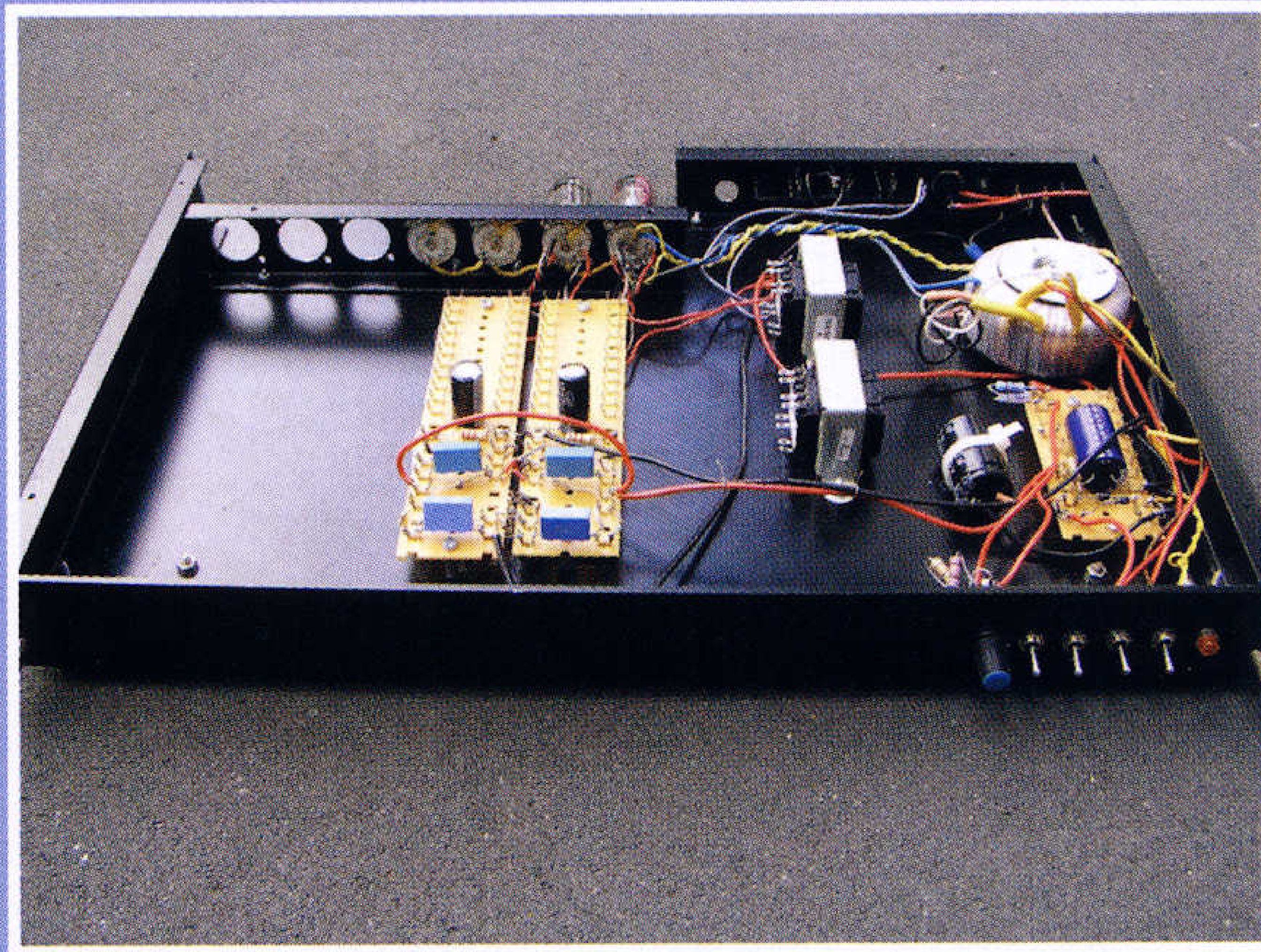
de eindversterker een belangrijke rol speelt bij de vorming van de gitaarsound. Als ik even in de buurt blijf van mijn ideale versterker wordt de buizen eindversterker gevormd door een fasedraaier, een push-pull configuratie van 2 (of 4) eindbuizen en een uitgangstrafo. Omdat het allemaal zo hard mogelijk moet, zijn de buizen liefst als pentode ingesteld, klasse A/B met vaak veel B en een beetje A.

Die push-pull combinatie levert bij een flinke uitsturing naast even harmonische vervorming ook veel oneven harmonische vervorming. Met een beetje pech is de fasedraaier niet helemaal netjes afgesteld waardoor beide signalen niet helemaal identiek zijn. Soms is ook de ruststroom in beide buizen niet netjes gelijk waardoor positieve en negatieve flanken in klasse B niet identiek worden versterkt. Omdat de voedingen van oude buizenversterkers niet erg ruim bemeten zijn, treedt ook nog een verschijnsel op wat in het Engels “sag” wordt genoemd. De voedingsspanning zakt bij grote signalen in waardoor een compressie effect optreedt. Je hoort dat de versterker herstelt als het signaal uitdooft. Net zo belangrijk is dat het signaal via de uitgangstransformator geleverd wordt aan de gitaarluidspreker plus behuizing. De luidspreker heeft een frequentie afhankelijke impedantie die door de transformator netjes wordt overgebracht op de eindbuizen, die bij verschillende frequenties een andere belastinglijn gaan volgen.









Het vervorminggedrag van de balans eindtrap in combinatie met de interactie tussen de luidspreker en de eindbuizen leveren een klankkarakter dat sterk afwijkt van de klank van een voorversterker. Helaas wordt het pas echt lekker bij hogere geluidsniveaus. Op lage niveaus vervormt de eindtrap nauwelijks en is de wisselende belastinglijn door de interactie met de luidspreker nauwelijks hoorbaar.

Uitgangspunt

In de inleiding van dit artikel geef ik eigenlijk al aan dat het niet gemakkelijk is om een goed gitaargeluid in de woonkamer te krijgen. Een grote buizenversterker met 4x12 kast kopen en die heel zacht zetten vergroot de feestvreugde niet echt. In de studio en ook thuis wordt steeds vaker gebruik gemaakt van digitale modeling om de complete keten van gitaar tot en met luisterruimte na te bootsen. Die producten worden steeds beter, maar er gaat voorlopig niks boven "the real thing". Is het mogelijk om een eindversterker voor gitaar te ontwerpen die op woonkamerniveau de karakteristieke vervorming van de ruim bemeten voorbeelden kan benaderen?

Vermogen

Wat voor vermogen moet zo'n versterker dan hebben? Het rendement van een gitaarluidspreker bedraagt gemiddeld 95dB/1W. Dit betekent dat een 1 W versterker op 1 meter afstand van de luidspreker een geluidsniveau van 95 dBspl kan voortbrengen, wat ongeveer gelijk is aan het geluid van een band tijdens bruiloften en partijen. Het geluidsniveau neemt 3dB af als het vermogen wordt gehalveerd, en 10 dB als het vermogen gedeeld wordt door 10. Dat wil zeggen dat een 0.1 W versterker nog steeds 85 dBspl kan produceren en een versterker van 0.01W (10 mW) een geluidsniveau van 75 dBspl.
We moeten dus op zoek naar een buizen balans eindtrap met een vermogen dat instelbaar is tussen 10 mW (23.00 uur) en 1 Watt (15.00 uur op zaterdag). Als balans eindbuis kies ik hiervoor een ECC82 dubbeltriode. Het instelpunt van deze buis is zodanig in te stellen dat een vermogen geleverd kan worden tussen 0.01 en 1 W; zie het rechterdeel van figuur 1.

De voeding

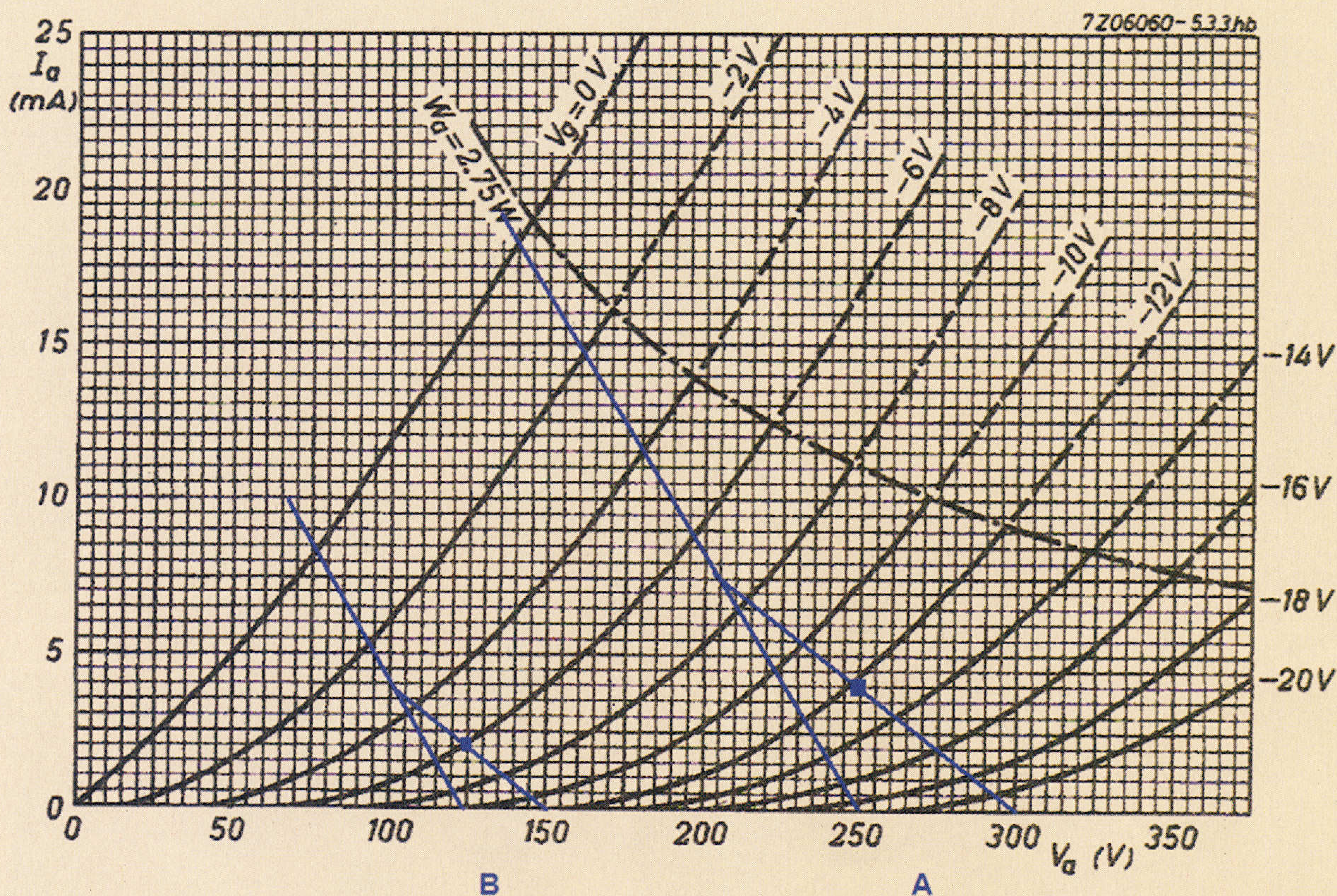
De voeding is zodanig ontworpen dat de voedingsspanning van de eindbuizen schakelbaar is tussen 35 V en 250 V om hiermee het vermogen te kunnen regelen. Tegelijkertijd moet de voeding inzakken als de gitaar hard wordt aangeslagen om de "sag" van een eindversterker na te bootsen. In het ontwerp wordt aan beide eisen voldaan door het plaatsen van schakelbare weerstanden tussen de voeding en de eindtrap. Door de spanningsdeler, gevormd door de belasting van de eindversterker en die weerstand, regelen we de voedingsspanning van de eindbuizen als er geen signaal is (gitaar niet aanslaan). Als er wel signaal is (gitaar hard aanslaan) trekt de eindtrap meer stroom, waardoor de voedingsspanning inzakt. De voedingsspanning herstelt weer als het gitaarsignaal uitdooft.
Het inschakelen van de voeding gaat zoals in de meeste gitaarversterkers met een schakelaar voor de netspanning en een stand-by schakelaar voor de hoogspanning. Zie voor meer details figuur 2.

De fasedraaier

De ECC82 rechts in figuur 1, wordt zo ingesteld dat een vermogen van 1 Watt wordt bereikt bij een signaal op het rooster van 12 V. Dat signaal wordt geleverd door een differentiële fasedraaier met een versterkingsfactor van ongeveer 25. Hiervoor wordt een ECC83 gebruikt. De fasedraaier kun je precies afregelen zodat beide flanken in tegenfase hetzelfde signaal aanleveren, maar dit is voor een gitaarversterker niet erg kritisch. Er wordt ook geen gebruik gemaakt van een negatieve voedingsspanning. In plaats daarvan wordt de kathode op een positieve spanning van ongeveer 40 V gebracht. De kathodeweerstand wordt opgebouwd als simpele spanningsdeler die de Vgk van de ECC83 op ongeveer – 1 V houdt. De consequentie is dat er een ontkoppel condensator C2 nodig is aan de ingang van de fasedraaier. De fasedraaier werkt met een constante hoogspanning V1 = 320 V.

De uitgangstrafo

De belastinglijn van de balans eindtrap is zo gekozen dat die bij kleine signalen in klasse A werkt (20% van het vermogen), en daarna in klasse B; zie figuur 3. Als het ingangssignaal groter wordt dan Vgk treedt een harde



Figuur 3.
ECC82 instellingen

clipping op van het signaal. Om de belastinglijn te realiseren in de klasse A instelling is een primaire impedantie Zaa nodig van ongeveer 25 kOhm. Voor de uitgangstrafo is een kleine netvoedingstrafo van 2 x 115 V naar 6 V gekozen. Met Np/Ns = 230/6 = 38.3 moet de luidspreker een impedantie hebben van $25000/38.3^2$ = 17 Ohm. Een 16 Ohm gitaarluidspreker voldoet uitstekend en toevallig heb ik die. Een 8 Ohm luidspreker voldoet ook, maar dan is de helling van het klasse A deel steiler. Er blijft dan minder klasse B ruimte over.

Realisatie

Voor de vormgeving van de eindtrap kun je natuurlijk allerlei exotische kastvormen bedenken; ik heb gekozen voor een 19" 1HE kast. Op die manier kan ik hem gemakkelijk samen in één kast stoppen met mijn 19" voorversterker. Ik heb ruimte genoeg in die kast, en daarom heb ik voorbereidingen getroffen voor stereo gebruik. Er is nog ruimte op de printjes, de extra buisvoetjes, schakelaartjes, uitgangstrafo en pluggen zijn al gemonteerd. Ik heb ook wat ruimte gelaten voor een nog te ontwerpen voorversterker. De voedingstrafo heeft voldoende vermogen om tot 8 buisjes aan te kunnen sturen. Zie de foto's voor aanvullende details.

Spelen met klank

In dit ontwerp wordt niet gezocht naar een hifi gitaargeluid, maar naar het geluid van een overstuurde eindversterker die de nette even harmonischen van een voorversterker verrijkt met oneven harmonischen en effecten van een instabiele voeding. De weerstand in de voeding van de eindtrap bepaalt het vermogen en daarmee het punt waarop de versterker gaat vervormen. De voedingspanning moet ergens liggen tussen 35 V (= snel vervormen) en 250 V (= pas op hogere volumes vervormen). Ik heb die weerstand daarom in 5 stappen schakelbaar gemaakt. Uitermate kritisch is de aansluiting van de voorversterker. Je kunt een gitaar rechtstreeks op de ingang van deze eindtrap aansluiten, maar daar is deze schakeling niet voor bedoeld. Ik ga er vanuit dat je er de uitgang van een gitaarvoorversterker op aansluit. Bijvoorbeeld een Marshall JMP-1of een Mesa Boogie Triaxis. Als je de digitale eindversterker simulatie tempert kan een POD of andere digitale modeler ook prima. Met de voorversterker regel je dan de "nette" even harmonische vervorming en de klankkleur. Met het uitgangsvolume van de voorversterker regel je de mate van oversturing van de eindtrap. Op die manier kun je heel subtiel de samenwerking tussen de voor- en eindversterker instellen. Het gaat mis als je het volle signaal van de voorversterker op de eindversterker zet. Die gaat dan niet stuk, maar de kans is erg groot dat je teveel "vieze" oneven harmonische vervorming krijgt.

Belangrijke onderdelen

Voedingstrafo: Amplimo 1N242
(sec. 230V/0.06A; 1x6.3V/2.5A)
Uitgangstrafo: RS 503-994
(3VA, prim. 2x115V; sec. 2x6V)

contact: info@directivity.nl



DOOR PETER GELDER

Single ended 211 triode versterker
met interstage trafo

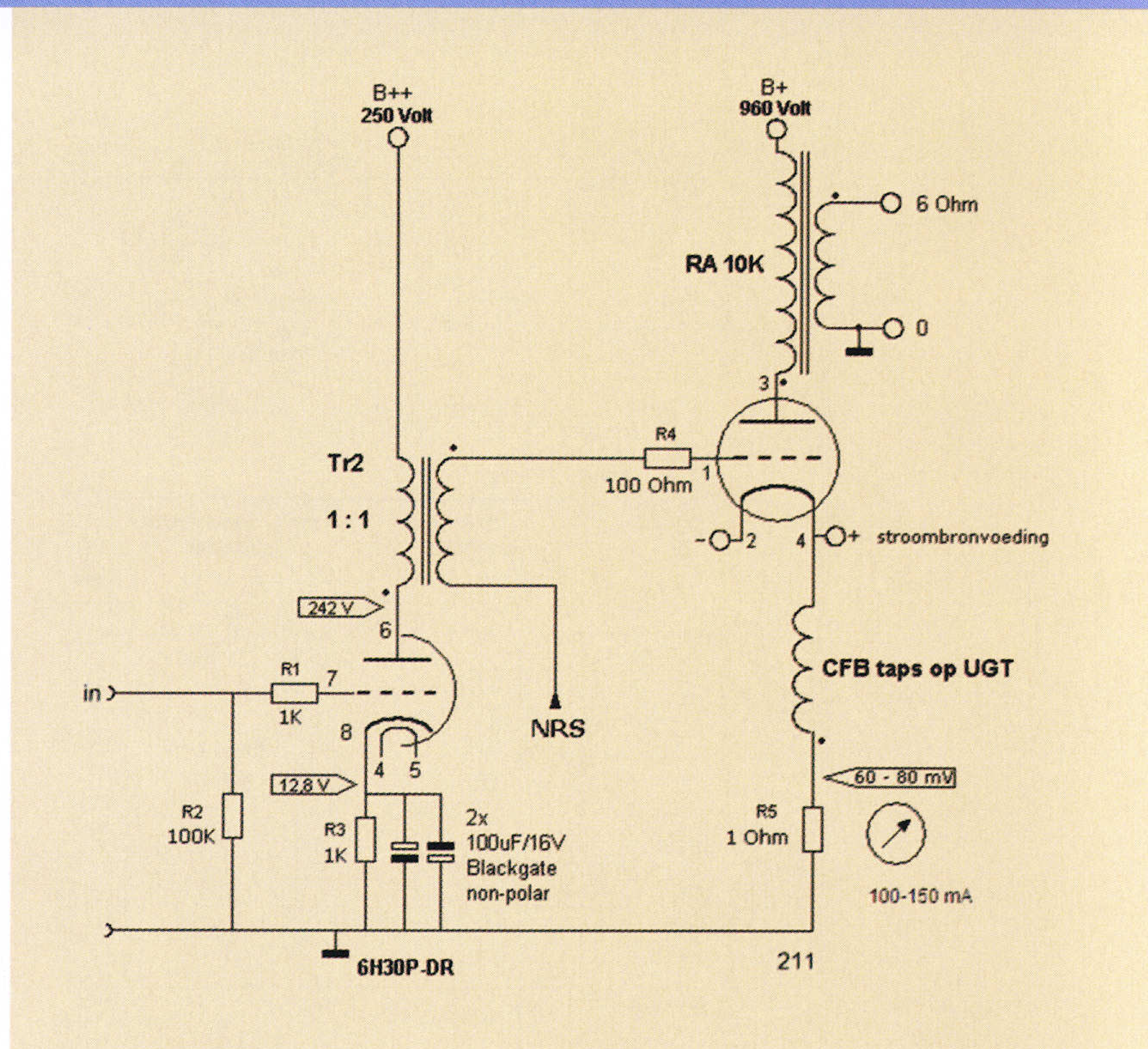
Dit artikel beschrijft een opmerkelijke single ended 211 triode versterker met een stuurtrap die gebruik maakt van een interstage trafo. Hij is een verdere ontwikkeling van de 300B versterker die vorig jaar werd gepubliceerd.

Ik ben aan het ontwerp van deze versterker begonnen kort nadat ik een project met een 813 buis in een Single Ended Ultra Lineair setup had afgedankt, omdat de meetgegevens niet aan de verwachtingen voldeden. Dit speelde in dezelfde periode waarin Dick van de Merwe zijn 300B artikel publiceerde in de Audio Special van 2009. Ik wilde een versterker bouwen die qua performance beter uit de bus zou komen dan de 211 versterkers die ik al jaren had staan spelen. In nauw overleg met Dick van de Merwe, heb ik besloten te gaan voor een 211 versterker die gebruik maakt van een interstage trafo in de stuurtrap zodat geen koppelcondensator nodig is. Dit type stuurtrap levert als extraatje een paar Watt extra uitgangsvermogen op, vanwege de vloeiende overgang van Klasse A1 naar A2.

Klasse A1 en A2

Klasse A1 betreft een instelling waarbij het rooster van de eindbuis een constante negatieve spanning krijgt aangeboden om de ruststroom door de eindbuis in te stellen. De negatieve roosterspanning op de 211 eindbuis van -59 V geeft de 6H30 stuurbuis ruimte om zo'n 42 V_{rms} signaal te leveren voordat het rooster van de 211

positief wordt. Op het moment dat die spanning boven de 0 V uitkomt, gaat het rooster stroom trekken, wordt daardoor laagohmig en bereikt de stuurtrap het eind van zijn kunnen. Dankzij een koppelcondensator tussen stuur en eindtrap wordt erg vervelend gedrag bij oversturing begrensd. Er ontstaat namelijk automatisch een laag-af filtering. Hierdoor blijft een harde begrenzing uit, zoals je vaak bij solid state versterkers ziet. Het blijft allemaal lekker soft gaan als de grens overschreden wordt. Klasse A2 is een instelling waarin het rooster van de eindbuis wel een positief signaal aangeleverd kan krijgen (dus boven de fysieke nul). De stuurtrap kan de benodigde stroom voor het rooster leveren. Het gebruik van een interstage transformator zorgt er voor dat zowel Klasse A1 en A2 haalbaar zijn en de overgang van A1 naar A2 vloeiend verloopt. Het heeft echter wel consequenties voor de signaalkwaliteit, want in klasse A2 raakt het signaal namelijk vervormd. De meerwaarde zit er echter in, dat het een mooie oplossing biedt voor flinke uithalen die in het positieve gebied eindigen, daar waar een koppelcondensator de toppen van de sinussen gewoon zou hebben afgevlakt.



Figuur 1. Schema iGoliath versterker

Speciale Uitgangstrafo

Bij een eindbuis die een hoge uitgangsimpedantie nodig heeft, draait eigenlijk alles om de kwaliteit van de uitgangstrafo. Bandbreedte is vaak het grote probleem met 10 K uitgangstrafo's. Wil Blaauw van AE-Europe heeft zich speciaal voor deze versterker veel moeite getroost om een uitgangstrafo te ontwikkelen die zich van zijn beste kant laat zien in de laagste frequentieregionen, maar ook in het hoog niet te veel water bij wijn doet. Het maken van een uitgangstrafo is altijd weer een kwestie van een juiste balans vinden. De nieuwe trafo heeft een dubbele C-kern die ruim 150 mm hoog is en zowel ingezet kan worden voor Single Ended Triode als voor Ultra Lineaire Pentode. De secundaire winding heeft slechts één impedantietap van 6 Ohm. Tevens is er een CFB-winding (tegenkoppeling) aanwezig die meehelpt om de uitgangsimpedantie van de eindtrap nog wat verder te verlagen. Dit kan het aansturen van luidsprekers verder verbeteren.

Een paar specificaties op een rijtje:

- Dubbele C-kern, materiaal: SE 150b
- AE typenummer: 28957
- Frequentiebereik: 8 Hz tot 22 KHz -3dB @ 1 Watt
- Geen resonanties binnen meetbereik
- Eerste resonantie pas bij 100 KHz
- Primaire wikkeling max. 120 mA
- Secundaire output 50 W @ 6 Ohm

De kast

Ik gebruik een 100 mm hoog chassis omdat er voldoende ruimte moet zijn voor de interstage trafo. De opbouw van het chassis is met aluminium kokerprofielen voor de zijkanten en 10 mm dikke aluminium platen voor het front en achterpaneel. De maatvoering van het kokerprofiel is 100x18 mm bij een wanddikte van 3 mm. Deze profielen zijn bij de metaalhandel per strekkende meter te verkrijgen. Zie de foto's voor meer details. De kokers zijn voorzien van gelijmde aluminium proppen met schroefdraad gaten voor het front en achterpaneel. Alle montageplaatsen zijn voorgeboord en voorzien van schroefdraad. De panelen zijn gepolijst en gespoten.

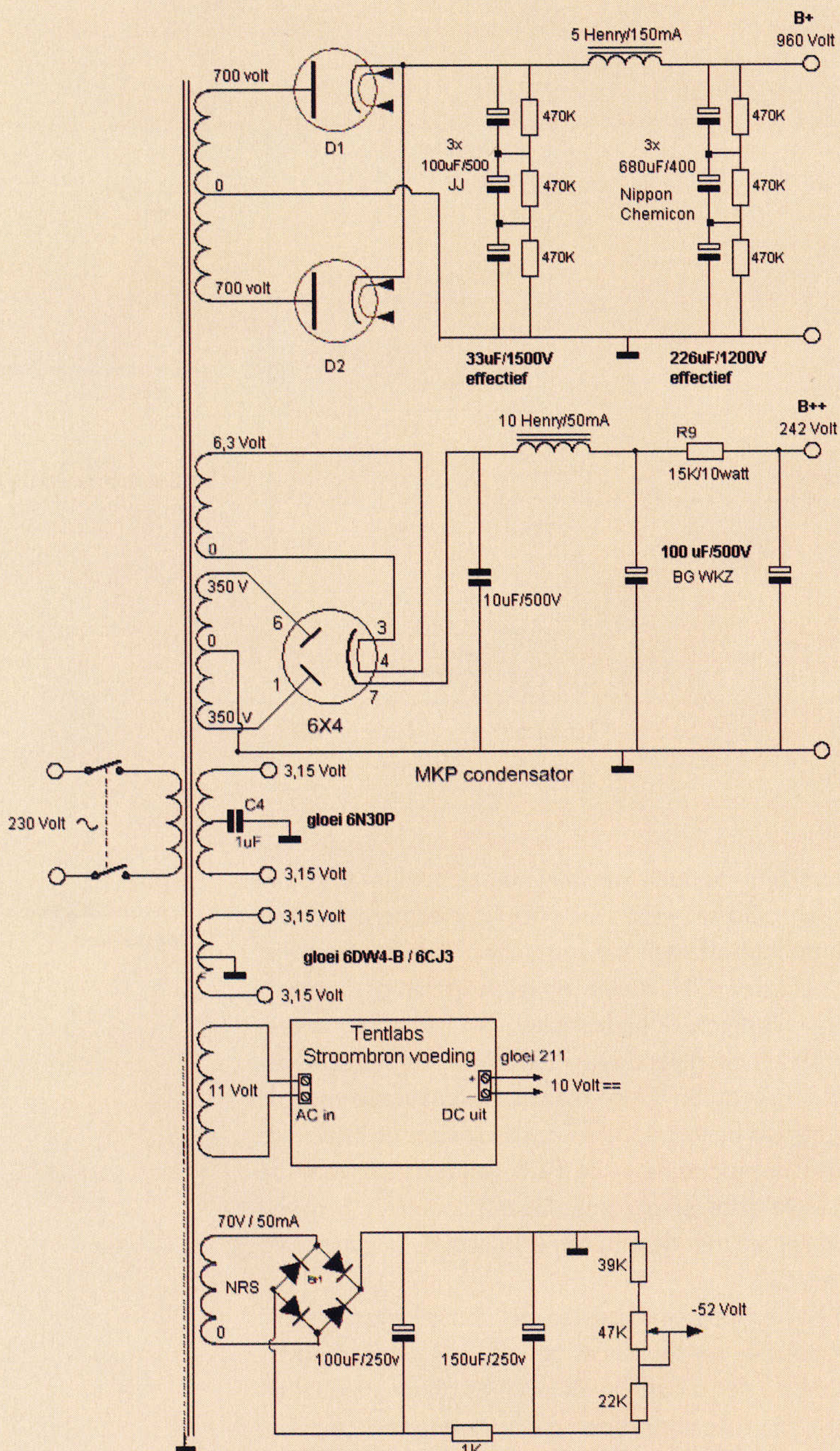
De oplossing die ik bedacht heb om het hoofd te bieden aan het optredende ruimteprobleem is een subchassis met daarop de C2 condensatorcombinatie voor de voeding van beide trappen. Daarnaast staat de interstage en aan de voorzijde is de PCB gemonteerd voor de negatieve roosterspanning. Deze module is hangend bevestigd en met de moeren (M6) van de uitgangstrafo vastgezet.

Alle horizontale chassisdelen zijn gemaakt van rvs. Na het boren en ponsen van de benodigde gaten in de chassisplaat en het lassen van de plaatjes op de trafobehuizingen, zijn al deze rvs-delen gepolijst. Alle verticale vlakken zijn zwart gespoten.

De versterker

De eerste trap is opgebouwd rond de bekende 6H30 (6N30) dubbel triode (zie figuur 1). Dit is een medium gain triode met een mu van 14 á 15 die ik graag in mijn versterkers gebruik. Het is een echte krachtpatser met een voor een stuurbuis zeer lage inwendige weerstand. De kathodeweerstand van de 6H30 is met een capaciteit ontkoppeld om de uitgangsimpedantie van de buis zo laag mogelijk te houden. Ik heb hiervoor 100uF/16V Blackgate non-polar condensatoren gebruikt die ik nog op de plank had liggen. Deze mooie condensatoren zijn helaas al weer enige tijd uit de roulatie, maar je kunt natuurlijk zonder probleem een andere goede en gangbare elco op deze plek gebruiken.

De reden dat de versterker maar beperkt gebruik kan maken van de mogelijkheden die met klasse-A2 geboden worden, ligt aan de beperkte hoeveelheid stroom die de 6H30 kan leveren. Als de eindbuis richting zijn



Figuur 2: **iGoliath voedingsschema**

positieve aansturing gaat, zakt de anodeweerstand die de 6H30 ziet over de interstage naar het niveau van het stuurrooster die dan rond de 2 KOhm ligt. De 6H30 kan dat best nog een tijdje bijbenen, maar als het rooster echt vol in de positieve aansturing schiet en flink stroom gaat eisen, dan komt de dappere Rus in ademnood. Als je echt gebruik wilt maken van A2 waarbij een dubbel uitgangsvermogen tot de mogelijkheden hoort, dien je gebruik te maken van een 300B of Mosfet in de stuurtrap. In het huidige geval geeft deze schakeling wat meer headroom. Voor de prestaties hoef je het dan allang niet meer te doen, getuige de vervormingcijfers die verderop in dit artikel worden besproken.

De secundaire wikkeling van de interstage wordt gevoed met een negatieve spanning om de virtuele nul van het rooster zo'n 59 V omlaag te trekken. Zolang het signaal binnen het negatieve spanningsgebied blijft, speelt de versterker in klasse A1, bij het positief worden gaat de versterker over in klasse A2. Voor het instellen van de ruststroom gebruik ik een klassieke NRS-schakeling waarmee heel simpel van buiten af de negatieve roosterspanning met een potmeter te regelen is.

Zoals al vaak gezegd en geschreven, zit de werkelijke kwaliteit van een versterker in de eerste watt, want daar zit de informatie en detaillering die wij zo graag horen. Hoe beter de controle over het muzieksignaal is, hoe hoger de kwaliteit van de weergave. Met de controle van deze versterker is niets mis. Integendeel zou ik zeggen. De weergave heeft autoriteit en kracht en geeft een natuurgetrouwe indruk. Natuurlijk wil je op zijn tijd de volumeknop ook wel eens verder opendraaien zonder dat de versterker je in de steek laat en dat laatste is met deze versterker goed gelukt. Het is een typische Single Ended Triode versterker gebleven, maar heeft een paar fijne extra's zowel op het gebied van klankeigenschappen en laagweergave als op het gebied van vermogen.

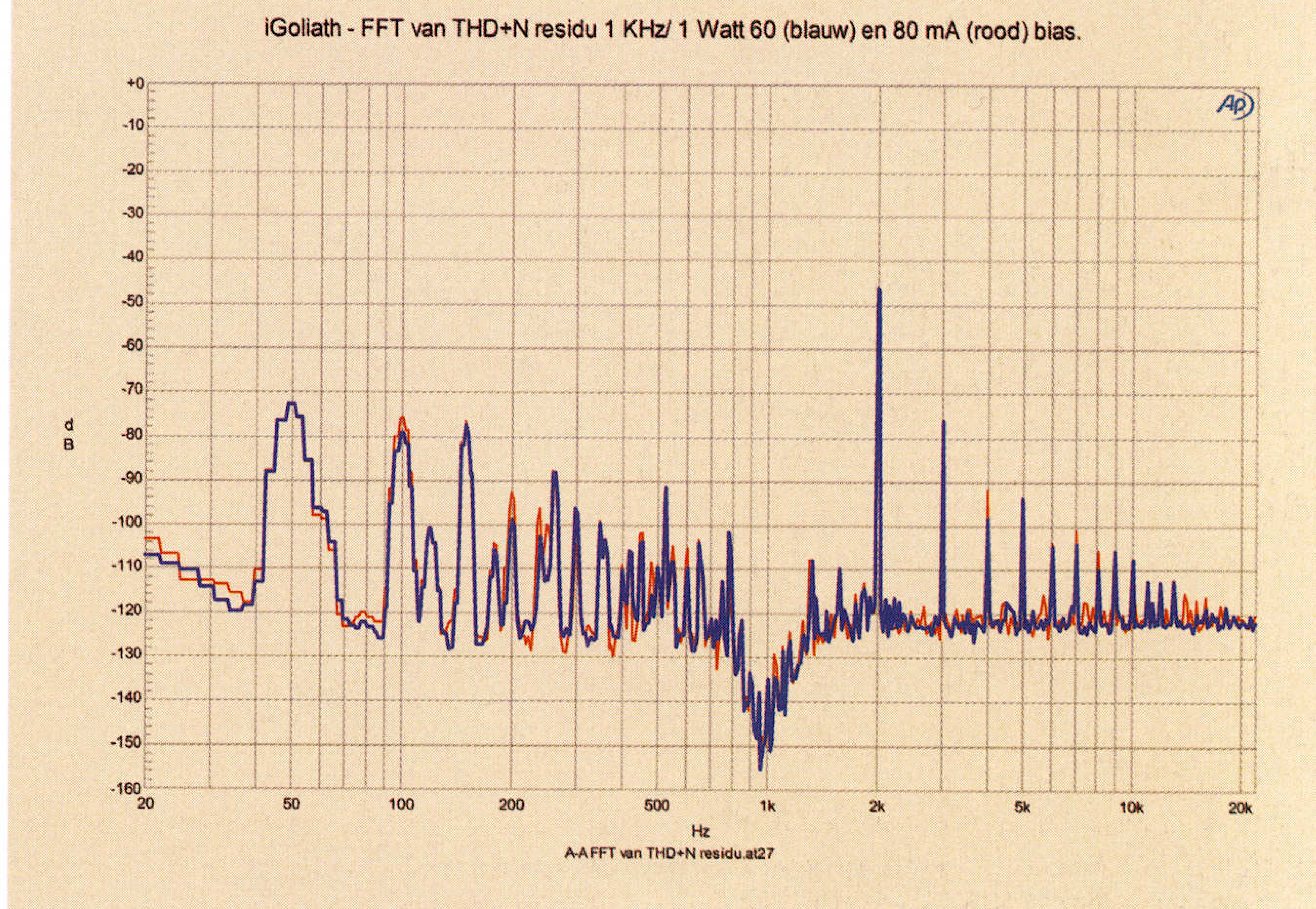
Ondersteunende elektronica

Het voedingschema staat in figuur 2. De 6H30 wordt gewoon met 6,3V wisselspanning gegloeid, waarbij de bedrading strak getwist is om het strooiveld zo klein mogelijk te houden. Het heeft nauwelijks enige toegevoegde waarde om hier gelijkspanning te gebruiken. De gloeispanning voor de 211 buis is een heel ander verhaal. Omdat de buis een direct verhitte triode is, wordt de gloeidraad tevens als kathode gebruikt en maakt dus onderdeel uit van de signaalweg. Elke vorm van brom die bovenop de gloeispanning wordt aangeleverd, zal hoorbaar zijn aan de uitgang. Een Tentlabs stroombronvoeding is hier dus goed op zijn plaats. Ik gebruik hier een trafospanning van 11V/5A voor, omdat anders het regelbereik erg krap wordt. De schakeling voor het maken van de negatieve roosterspanning is erg simpel.



De voeding

De gelijkrichting voor de 211 buis wordt verzorgd door twee 6DW4-B diodes die destijds gemaakt zijn als boost gelijkrichters voor kleurentelevisies in de V.S. Deze buizen hebben het grote voordeel dat zij geen top anode hebben en waardoor minder snel gevaarlijke situaties kunnen optreden met kinderen en huisdieren. Zij hebben een zeer lage voltage-drop (25Vdc @ 350mA) en kunnen 5,5KV verwerken. De buizen staan op een NOVAR voet die in V.S. nog goed te krijgen is. Deze buizenvoeten moeten niet verward worden met de Europese versie van deze grote 9-pins buizenvoet. Dit soort buizen is het eerst op de Amerikaanse markt verschenen met een pindikte van 1 mm en is daarna in aangepaste vorm door Philips gemaakt met een pendikte van 1,5 mm met dito buizenvoeten. De problemen die je krijgt als je deze Amerikaanse buis in een Europese buizenvoet zet zijn voor de hand liggend. Een goed alternatief voor de 6DW4-B is de 6CJ3 buis (damping diode).



Figuur 3: Het harmonische spectrum loopt gelijkmatig af.

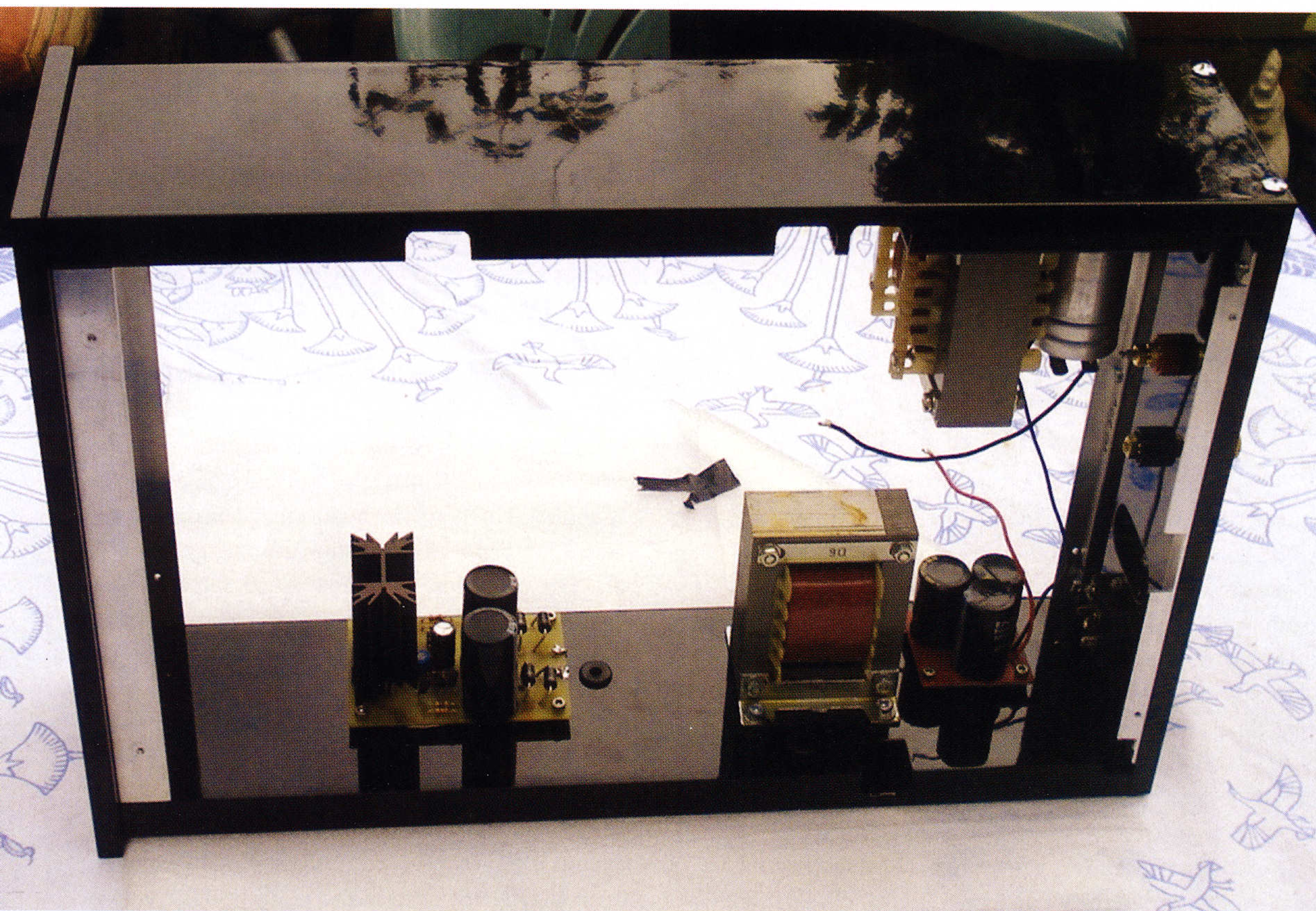
De gelijkrichting van de voortrap wordt verzorgd door een CV4005 of een 6X4 buisje. Een alternatief voor deze ook steeds slechter verkrijgbare buis is bijvoorbeeld een EZ90. De 6Z31 kan ook en wordt tegenwoordig weer nieuw geproduceerd.

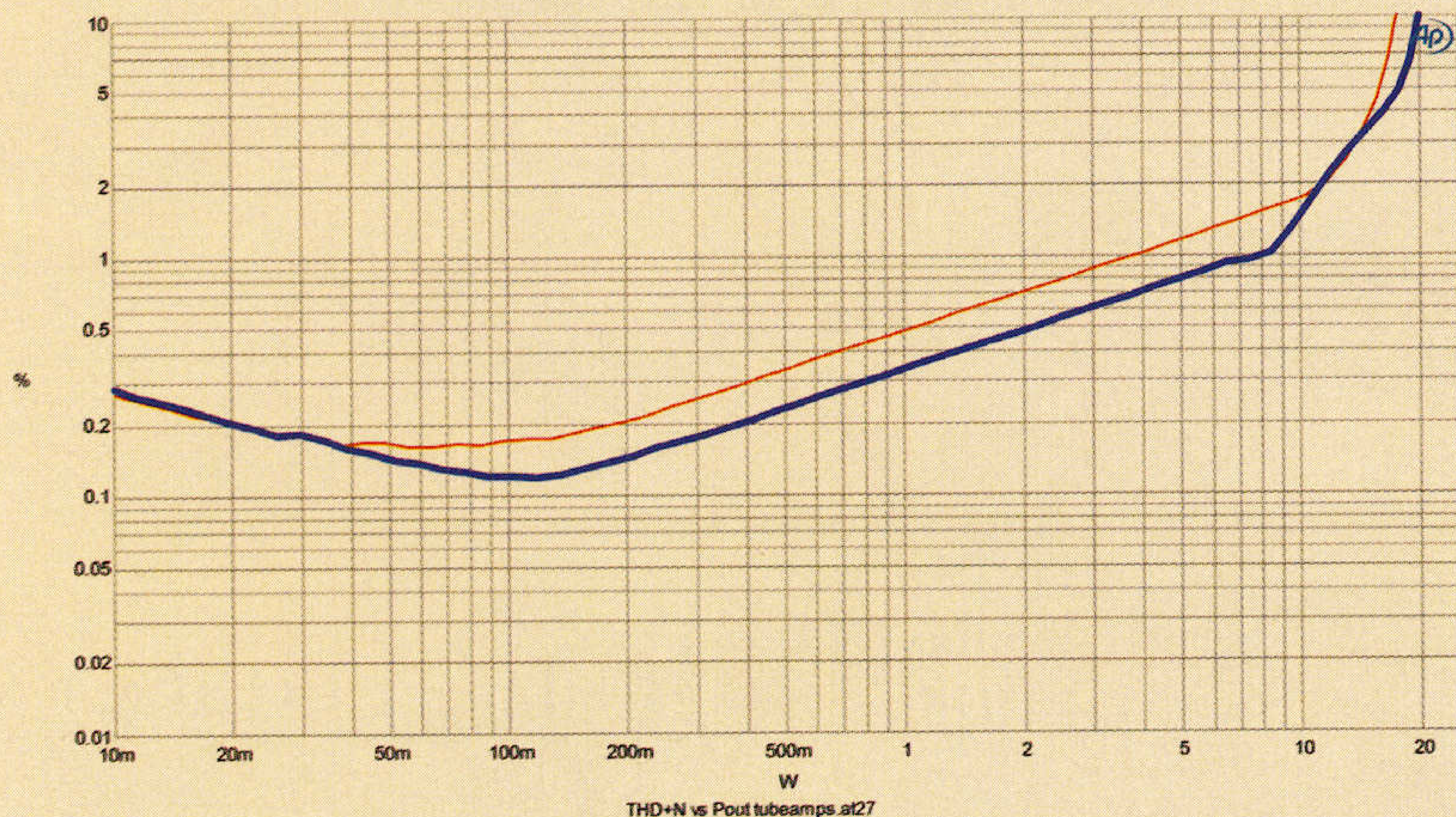
De voedingtrafo's hebben hoogspanningtaps voor 700 en 350 Vac. De in figuur 2 afgebeelde componenten zijn daarop afgestemd, maar je zou net zo goed (zo niet beter) kunnen kiezen voor 800 en 330 Vac taps, wat resulteert in een B+ van 1100 Vdc en een B++ van 234 Vdc met een iets aangepaste condensatorbezetting en weerstand. Met een bias van 60 mA @ 1100 Vdc kom je zo aan de maximale 65 W dissipatie voor Klasse-A weergave.

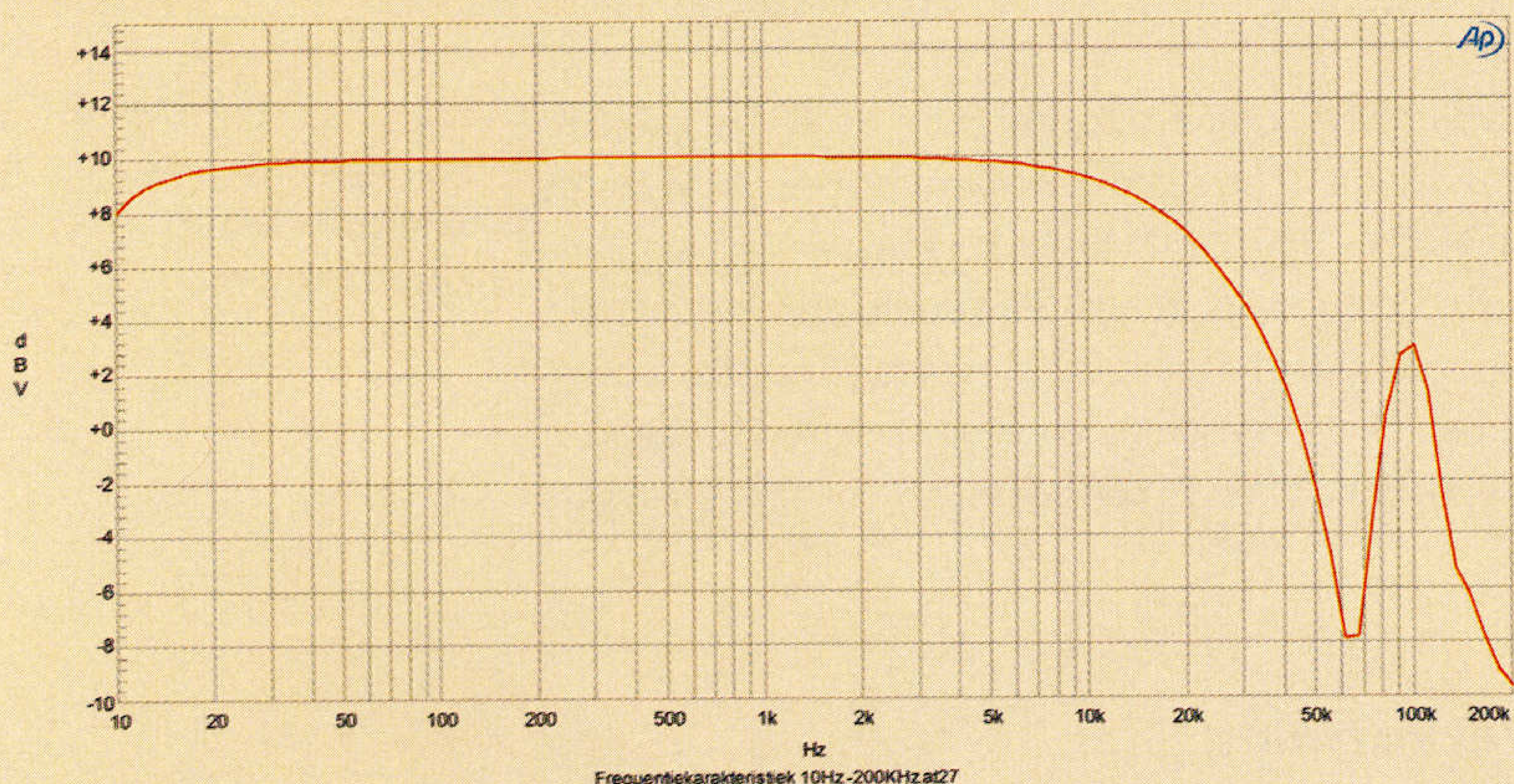
Voor de afvlakcondensatoren voor de B+ is gekozen voor Nippon Chemicon condensatoren en wel de 680uF/400V 105C KMM snap-in types, een prima kwaliteit elco die je veel in high end audio apparatuur ziet. Het mooie is dat het niet eens excessief kostbare componenten zijn. De voeding voor de voortrap is uitgerust met een Epcos MKP condensator en een Blackgate WKZ.

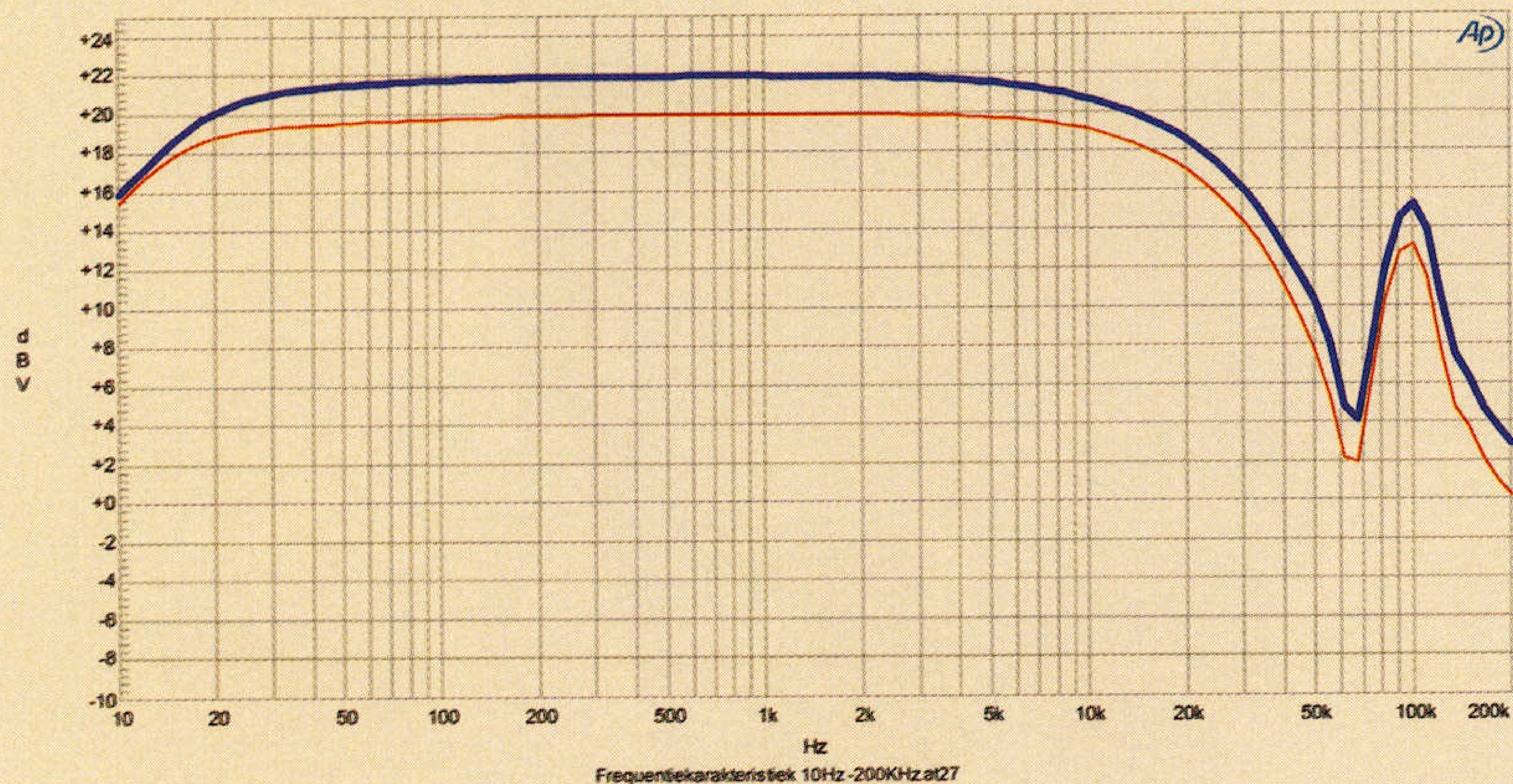
Vervorming

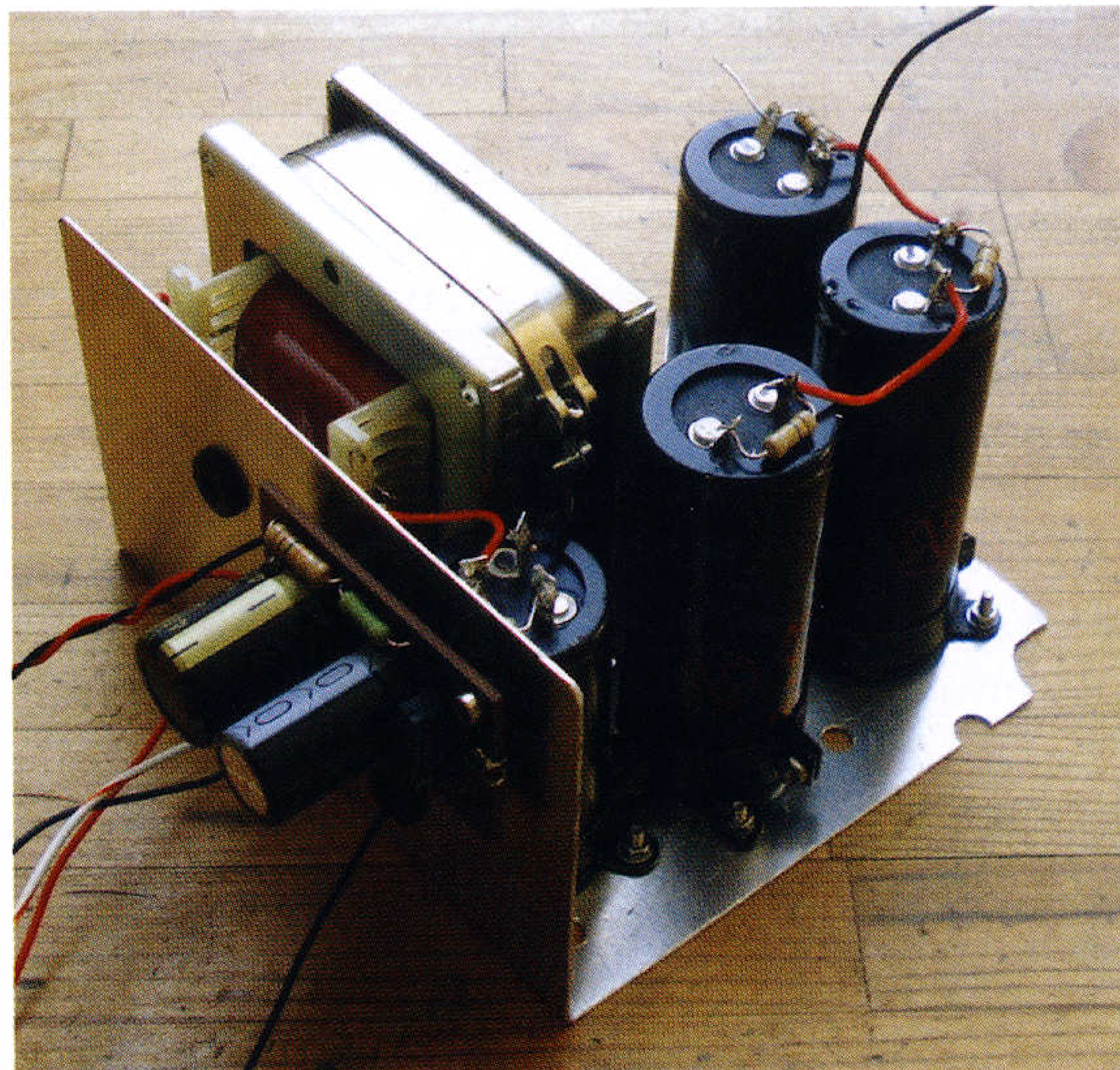
De totale harmonische vervorming plus ruis en brom (FFT THD+n residu) gemeten bij 1 watt met een 1 kHz meetsignaal in 8 Ohm voor zowel een 60 als 80 mA Bias, komt voor deze versterker uit op respectievelijk 0,48%











Figuur 4: Uitgangsvermogen versus thd+n 60 en 80 mA bias.

Figuur 5 en 6: Frequentieresponse bij 1, 12 en 20 W

en 0,33%. De cijfers komen voor het grootste deel op conto van de 2e harmonische vervorming, zoals het FFT spectrum van figuur 3 laat zien. Het harmonische spectrum loopt mooi gelijkmatig af. Figuur 3 toont twee metingen tegelijk bij een Bias van 60 en 80 mA. De ruisvloer ligt iets lager dan –120dB en de 50Hz stoorspanning beperkt zich tot -73dB. De 100 Hz harmonische ligt al op -76dB. Zelfs met je oor tegen de speaker gedrukt is er geen hoorbare brom.

Het extra vermogen wat binnen het A2 gebied beschikbaar komt, is goed te zien in figuur 4. Het 10% THD+n punt geeft 18 en 20 Watt aan bij een Bias van resp. 60 en 80 mA zonder dat er een harde clip optreedt. Dit 10% punt wordt overigens bereikt bij een signaalsterkte aan de ingang van 2,9 V

Frequentiebereik

De frequentieresponse bij 1, 12 en 20 Watt worden weergegeven in figuren 5 en 6. Binnen -3dB is de karakteristiek recht tot minstens 19 kHz. Hoewel deze cijfers vergeleken met solid state versterkers misschien niet spectaculair ogen, valt het resultaat voor een 211 single ended versterker beslist niet tegen. De curves aan beide zijden van het frequentiespectrum verlopen elegant. De bandbreedte beperking is het gevolg van het compromis wat je moet sluiten bij het maken van een 10 kOhm uitgangstrafo die ook nog eens grote uitgangsvermogens aan moet kunnen. Kijkend naar het -3dB punt in het laag, dat in alle gevallen kleiner is dan 16 Hz, moge duidelijk zijn waar hier voor is gekozen. Pas een grote kern toe met magnetische ruimte voor veel en diep laag.

Lineariteit

Ook op deze versterkers is de lineariteitsmeting op 70 Hz (naar het idee van Menno van der Veen) uitgevoerd; zie figuur 7. Deze test laat zien of de versterking constant is van zeer kleine tot zeer grote signalen. De nu gebruikte uitgangstrafo is iets minder lineair dan die in de 300B versterker van vorig jaar. De variatie beperkt zich echter tot ongeveer 0,4dB binnen een uitgangsspanning bereik tussen de -86dBV en 14dBV. De oploop links onder -86dBV wordt veroorzaakt door het doordringen van 50 Hz brom in de meting en mag genegeerd worden. De metingen zijn uitgevoerd bij een bias instelling van 60 en 80 mA en geven eigenlijk alleen boven de 10 W een afwijking in de lineariteit ten nadele van de 80 mA instelling.

Dempingsfactor

De dempingfactor ligt tussen 3,2 en 3,3 in het grootste deel van het frequentiegebied, zie figuur 8. De kathode tegenkoppeling zorgt ervoor dat de inwendige weer-

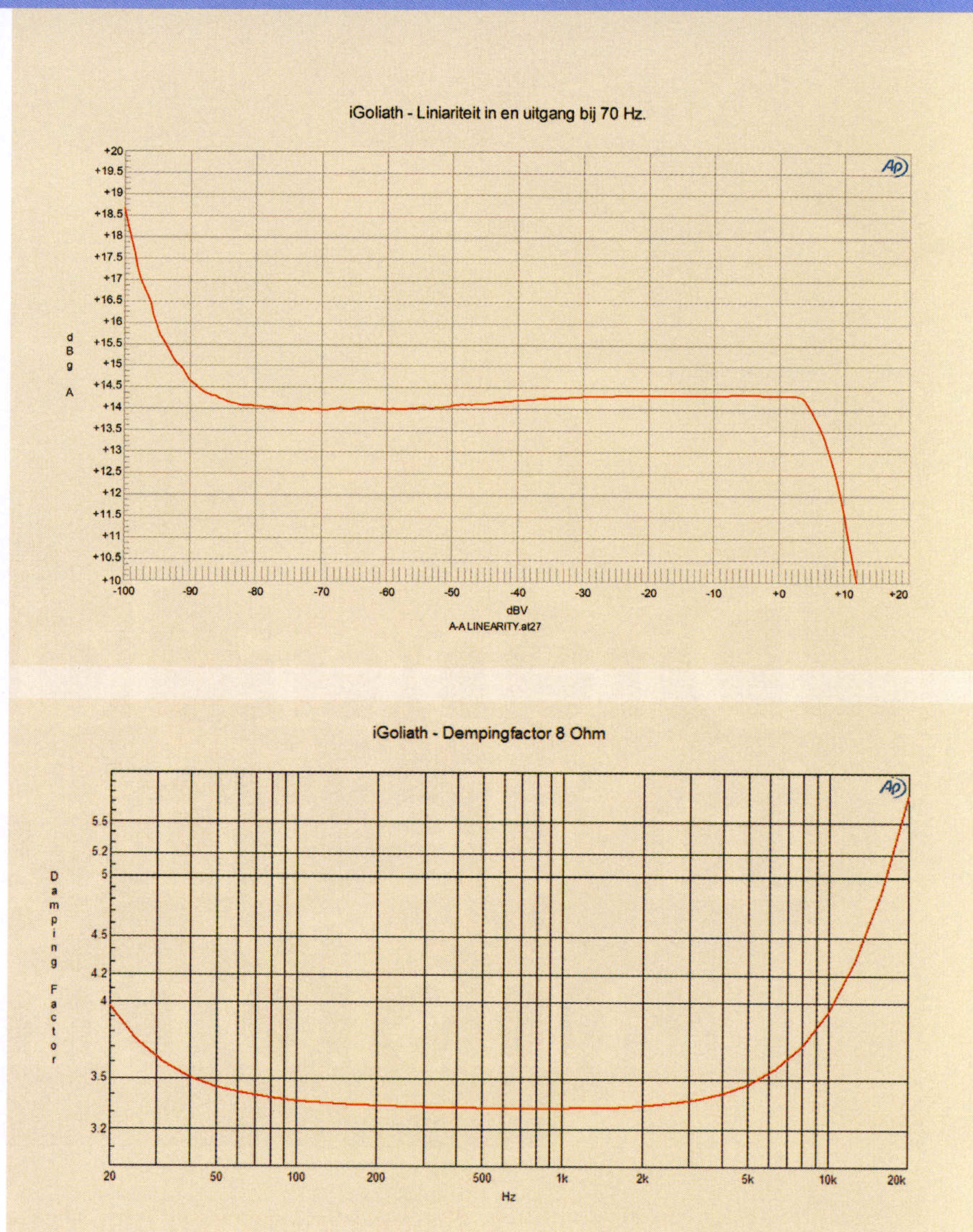
stand van de eindbuis een stukje verlaagd wordt. Zonder de CFB zou de dempingsfactor uitkomen op 2,3.

Buiskeuze

Hoewel er diverse Chinese en Europese 211 triodes nieuw geproduceerd worden en die een alles behalve verkeerde reputatie hebben, beperkt mijn ervaring zich tot de NOS typen uit de V.S. van General Electric, RCA en United Electronics. De GE's vind ik wat brutaal en hard klinken; de RCA's geven de muziek vloeiend weer en de UE's klinken zijdezacht. Mijn persoonlijke voorkeur gaat uit naar de RCA's.
De eerder genoemde 6H30 voorbuis is bij mij een gematchde Reflektor 6H30p-DR buis, maar eerlijk gezegd is het verschil met een nieuw geproduceerde en gematchde Sovtek 6H30p-EB niet of nauwelijks te horen. Gezien de prijzen die gevraagd worden voor de NOS Reflektor buizen, kun je geld beter uitgeven aan de Autobias module van Tentlabs/VanderVeen die echt iets toevoegt aan de werking van je versterker.

Muziek

De weergave van muziek, daar is het uiteindelijk allemaal om te doen. Vergelijken van versterkers kun je alleen maar doen vanuit een duidelijk referentiepunt en ik was zo gelukkig om zowel de Goliath met mu-stage voortrap als de iGoliath met interstage naast elkaar te kunnen beluisteren. Het zijn uiteindelijk twee totaal verschillende versterkers geworden en hoewel ze veel gemeen hebben, verschillen ze ook als echte broers.
Er is en blijft niets moeilijker dan perceptie om te zetten in duidelijke en begrijpelijke termen, maar om de verschillen in een paar woorden te duiden: er is meer controle in mid-laag en laag. Zangstemmen hebben meer autoriteit dan de oorspronkelijke Goliath en het laag is strakker. Dit alles zonder in te boeten op detaillering. De versterkers staan nu bijna een jaar te spelen en zijn zeer stabiel gebleken. Ik kan niet anders zeggen dan dat ik erg tevreden ben met het eindresultaat.



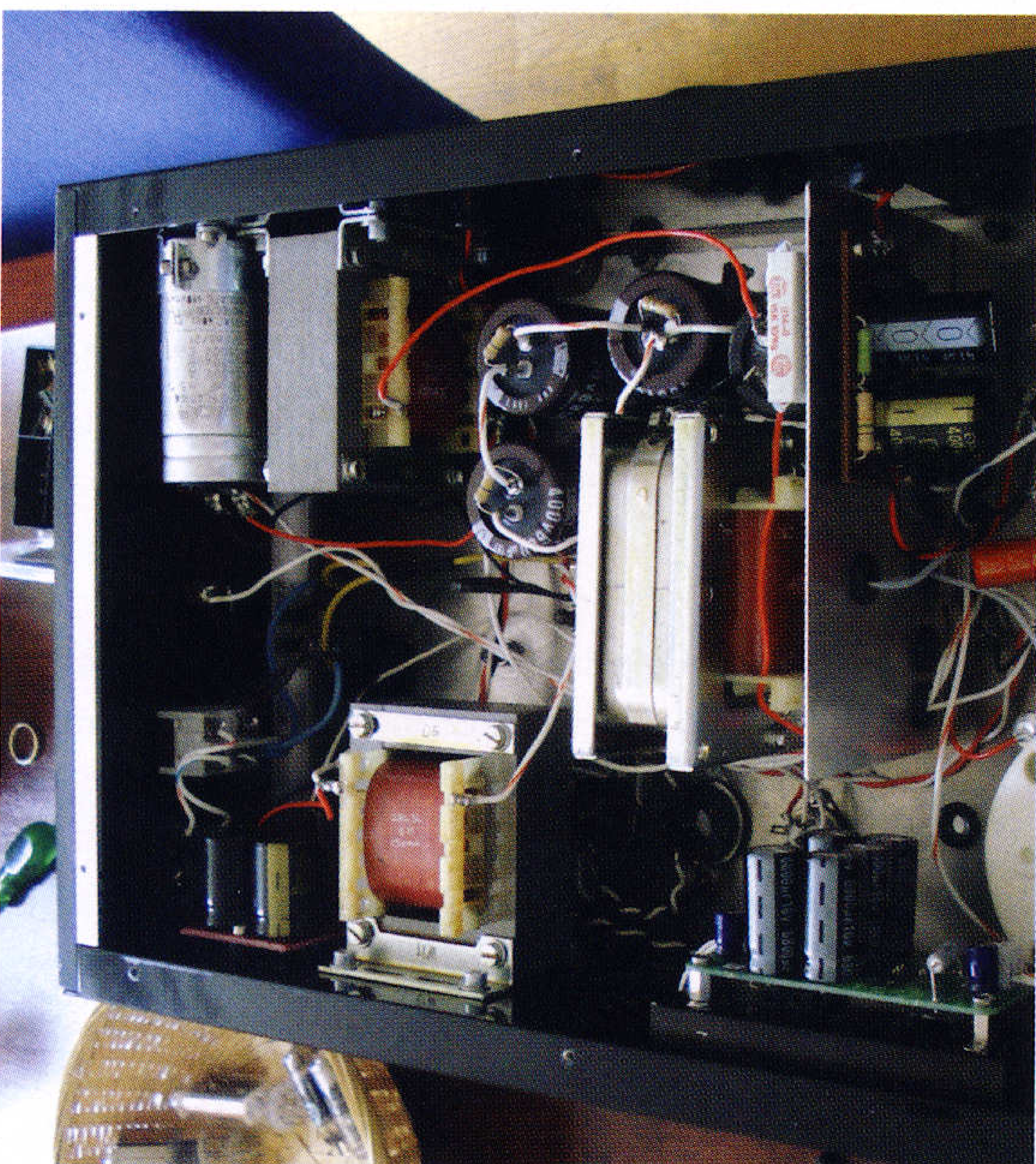
Figuur 7: Lineariteitsmeting op 70 Hz

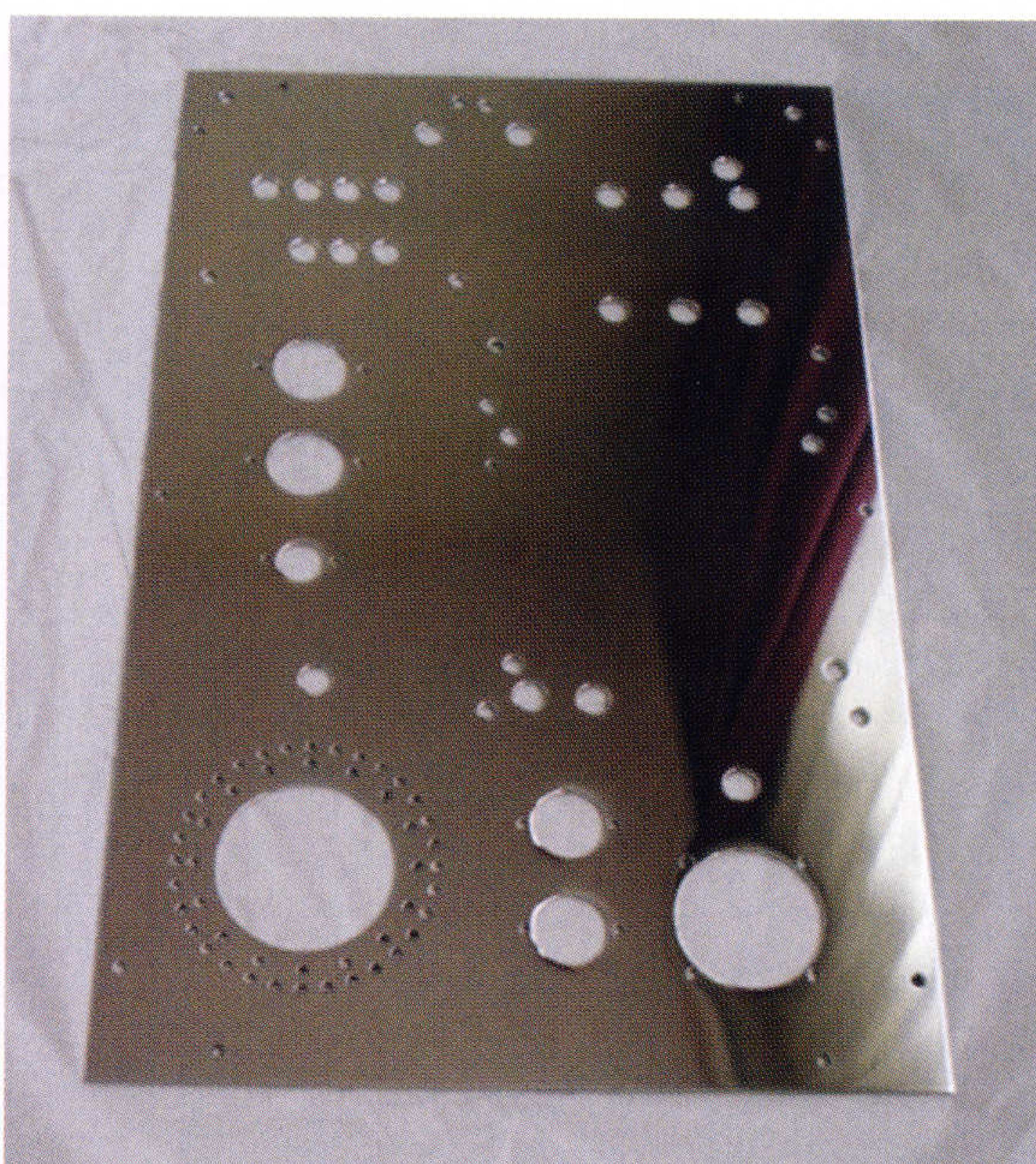
Figuur 8: De dempingfactor ligt tussen 3,2 en 3,3.

Waarschuwing

Deze versterker gebruikt een spanning die rond de 1000 Volt ligt en heeft een voeding die voldoende stroom levert om een acute hartstilstand te veroorzaken. Het is daarom niet aan te raden om deze versterker te bouwen indien je niet gewend bent om met zulke hoge voltages om te gaan en/of bekend bent met de risico's.

contact: peter@fam-gelder.nl

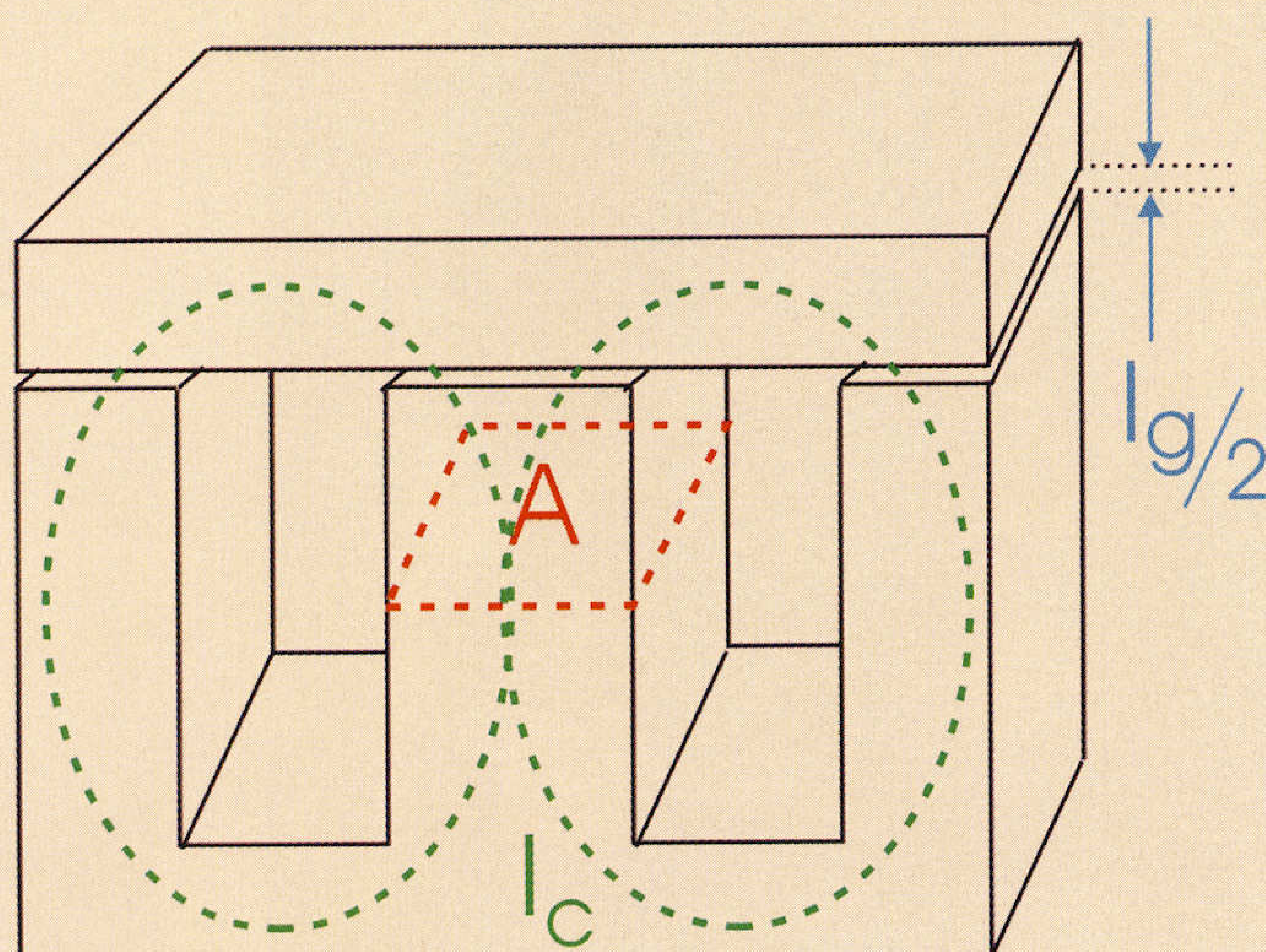




Dieper kijken in de uitgangs-transformator

DOOR MENNO VAN DER VEEN

Vaak zegt men dat in een buizenversterker de uitgangstransformator de zwakste schakel is. Maar is dat wel zo? Menno van der Veen behandelt in dit achtergrondartikel enkele bekende en onbekende verschijnselen en geeft aan hoe daar mee om te gaan.



Figuur 1: Definitie van -A- en -l_c- en -l_g- bij een OPT

Een goede uitgangstransformator is een balans tussen veel eisen en voorwaarden. Hoe die balans gekozen wordt, is per ontwikkelaar of fabrikant verschillend. De voorwaarden en eisen hebben fikse invloed op meerdere aspecten van de weergave van het geluid. Door de eisen en voorwaarden afzonderlijk te behandelen, plus hun invloed op de geluidsweergave, ontstaat inzicht in de speelruimte die voor de zelfbouwers overblijft. Daardoor wordt duidelijk hoe de toepassing van uitgangstrafo's geoptimaliseerd kan worden.

Basiskenmerken van de OPT

Stel een gesloten kern (EI of C of ringkern) met een dwarsdoorsnede oppervlakte A en een magnetische weglengte l_c plus eventueel een spleet met afstand l_g (zie figuur 1).

Stel we willen door deze trafo een vermogen P transporteren, waarbij de primaire impedantie (zie verderop) gelijk is aan Z_{aa} (balanstrafo) of Z_a (single ended trafo).

De effectieve (sinusvormige) wisselspanning $V_{p,rms}$ (rms duidt op "root mean square" wat in onze taal door "effectief" wordt uitgedrukt), die over de gehele primaire wikkeling komt te staan, wordt dan gegeven door:

$$V_{p,rms} = \sqrt{(P * Z_{aa})}$$

Deze wisselspanning wekt in de primaire wikkeling een wisselstroom op die de kern gaat magnetiseren. De hoeveelheid magnetische fluxdichtheid B_{max} (hiermee wordt de maximale "amplitude" bedoeld, de eenheid ervan is "Tesla") die in de kern ontstaat is omgekeerd evenredig met de frequentie f van de wisselspanning. Dus bij de laagste frequentie ontstaat de grootste fluxdichtheid.

Daarom voer ik nu in de frequentie f_{of} en daarmee wordt de laagste frequentie bedoeld die bij vol vermogen P door de transformator kan gaan zonder dat de kern van de transformator in verzadiging gaat (at the onset of core saturation), bijvoorbeeld bij 20 Hz.

Stel dat de primaire wikkeling in totaal N_p windingen heeft, dan geldt:

$$\frac{N_p}{V_{p,rms}} = \frac{\sqrt{2}}{\left(2 \cdot \pi \cdot f_{of} \cdot B_{\max} \cdot A\right)}$$

Verschillende kernmaterialen hebben verschillende B_{max} waarden, bijvoorbeeld: GOSS (grain oriented silicon steel) heeft B_{max} = 1,8 T; MOH (laser geëtst staal) B_{max} = 2 T; VM111 (zacht ijzer, uitgegloeid = annealed) B_{max} = 1,5 T.

Als het kernmateriaal gekozen is, evenals de kerngrootte (A en l_c), en het vermogen en de laagste volvermogen frequentie f_{of} bekend zijn, kan vervolgens het aantal primaire windingen N_p berekend worden.

Aan de secundaire kant wordt de transformator belast door een zekere impedantie Z_s (de luidspreker). In de praktijk is bij een luidspreker Z_s niet constant, maar frequentieafhankelijk, dus er geldt $Z_s(f)$. De relatie tussen het aantal primaire windingen en secundaire windingen en de bijbehorende impedanties wordt gegeven door:

$$\frac{Z_{aa}}{Z_s} = \left(\frac{N_p}{N_s}\right)^2$$

Uit deze formule volgt overduidelijk dat als $Z_s(f)$ niet aanwezig is (oneindig Ohm dus), dat dan Z_{aa} ook oneindig wordt. Hier komt mijn vreemde uitspraak vandaan dat Z_{aa} bepaald wordt door $Z_s(f)$ en de verhouding van N_p/N_s. Dus zonder secundaire belasting heeft de trafo geen gedefinieerde primaire impedantie. Als op een transformator staat Z_{aa} = 3,5 kOhm en Z_s = 8 Ohm, dan wordt in wezen de verhouding van N_p/N_s gegeven en deze is gelijk aan √(3500/8) = 20,92. Als we op de secundaire 8 Ohm aansluitpunten een 4 Ohm luidspreker aansluiten, dan wordt daarmee automatisch Z_{aa} = 1750 Ohm. Zie mijn site met de gegevens van "Het Project" en de beschrijving van de universele trafo VDV-GIT80, waar uitdrukkelijk van deze wetmatige verhoudingen gebruik wordt gemaakt. Dezelfde trafo (met constante N_p/N_s) kan zo door slim gekozen secundaire belasting vele primaire impedanties krijgen.

Op twee plaatsen in de transformator treden verliezen op. In de eerste plaats in de kern, dat zijn dan de zogenaamde "hysterese verliezen", die ontstaan omdat de magnetische domeinen in de kern steeds in een andere richting moeten gaan staan. Dat kost wrijvingsarbeid en daardoor ontstaat ietsje warmte. Deze hysterese verliezen zijn bij audio toepassingen nagenoeg verwaarloosbaar (minder dan 1%), dus ik neem ze in mijn verdere beschouwingen niet meer mee.

Daarnaast hebben we warmteverliezen in de wikkelingen zelf. Deze zijn meestal gemaakt van koperdraad en omdat de wikkellengtes behoorlijk lang zijn (honderden meters is normaal) kan de ohmse weerstand van het draad niet meer verwaarloosd worden. Aan de primaire kant treffen we dan aan de draadweerstand R_{ip} en aan de secundaire kant R_{is}. Door deze weerstanden lopen de primaire en secundaire stromen i_p en i_s en de warmteverliezen bedragen dan ($i_p^2 \times R_{ip}$ + $i_s^2 \times R_{is}$). Geschikt gekozen draaddiameters moeten deze verliezen in toom houden; te dun draad geeft teveel verliezen (maar er is wel veel wikkelruimte) en te dik draad geeft geringe verliezen (maar het past nauwelijks meer op de wikkelkoker). Duidelijk is dat de trafofabrikant hier een balans moet vinden.

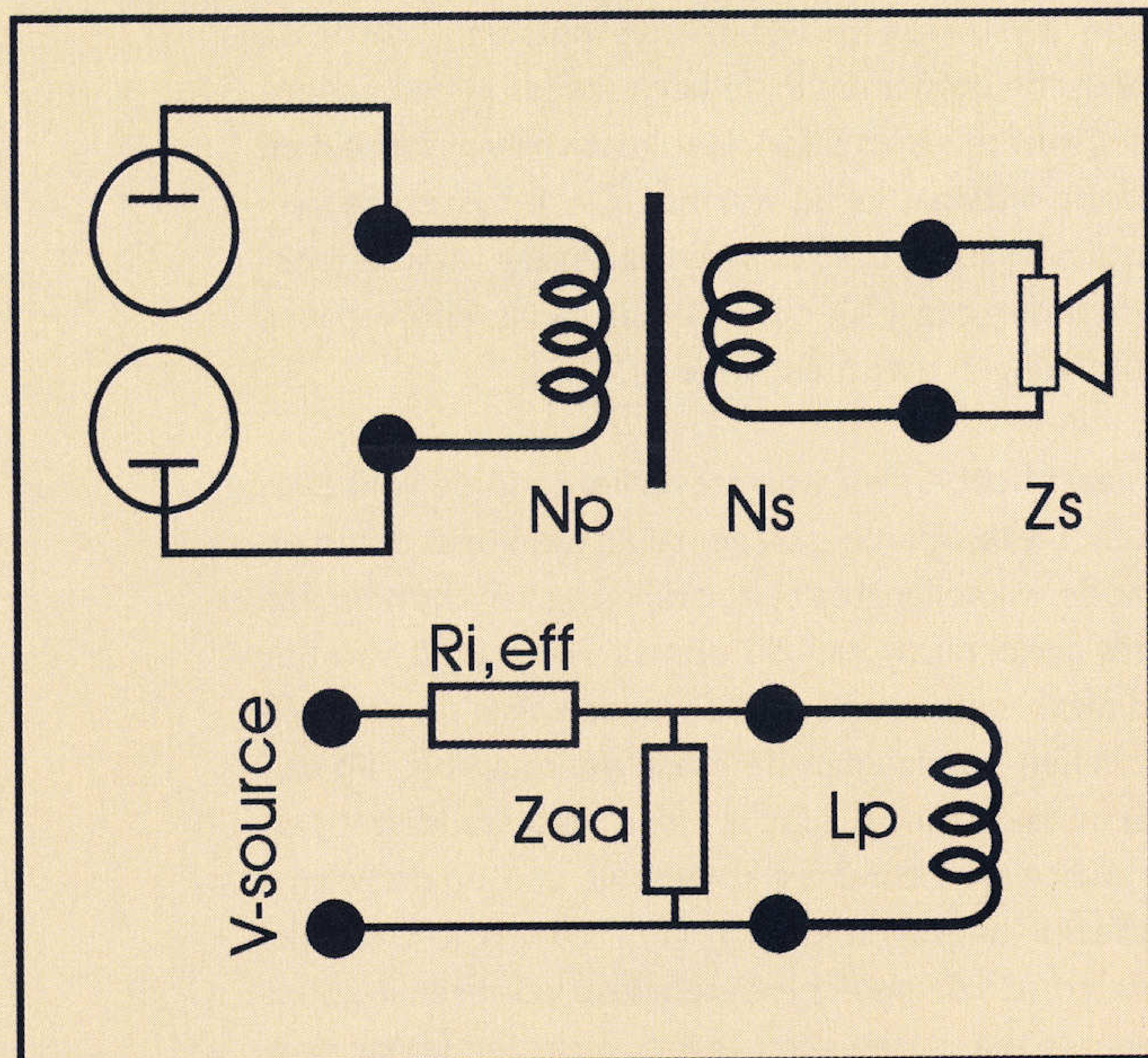
Bij heel hoge frequenties gaat de capaciteit C_{ip} tussen de wikkelingen een rol spelen. Hoogfrequent vormt die capaciteit een steeds sterker wordende kortsluiting waardoor hoge frequenties geremd worden. De kern en wikkelingen verliezen ook veldlijnen (lekvelden buiten de trafo) waardoor opnieuw de hoge frequenties tegen worden gehouden. Met drukt dit uit met de grootheid "lekinductie L_{sp}". Zowel C_{ip} en L_{sp} vormen elk een eerste orde filter (6 dB/oct), samen dus een tweede orde filter (12 dB/oct) dat boven een bepaalde frequentie de doorgifte van signaal sterk gaat beperken of opslingering oplevert. Vooral dit laatste is zeer ongewenst.

Bij heel lage frequenties gaat de magnetisatie van de kern erg veel energie vragen, die de buizen moeten leveren. Aldaar wordt de doorgifte van signaal dus ook geremd. De frequentie waaronder dit dominant is, wordt bepaald door de zelfinductie L_p van de primaire wikkeling in samenhang met de primaire impedantie Z_{aa} en de inwendige weerstanden van de aandrijvende buizen. Dit wordt verderop in detail besproken.

Samenvattend: een OPT lijkt een eenvoudig ding, de formules zijn eenvoudig, snel te berekenen, alles is helder en begrijpelijk en er kan eigenlijk niks mis gaan. Zodra zo'n situatie optreedt "kun je er donder op zeggen" dat er veel meer aan de hand is en daar gaan de volgende hoofdstukken over.

Laagfrequente excitatie stroom

Je wilt dat de stroomleverantie van de buizen rechtstreeks naar de luidspreker gaat, je wilt niet dat de trafo ook een deel van die buizenstroom voor zichzelf gaat gebruiken. De nare werkelijkheid is dat de trafo wel stroom vraagt, vooral bij lage frequenties en vooral bij single ended eindtrappen. Figuur 2 geeft een vervangingsschema dat zeer behulpzaam is bij dit probleem.



Figuur 2: Equivalent circuit van een buizenversterker die een luidspreker Z_s aantuurt.

De balans eindbuizen sturen de primaire wikkeling van de trafo aan en leveren aldaar een wisselspanning. Deze wordt getransformeerd naar de luidspreker. Halen we nu die luidspreker naar de linkerkant (primaire kant) van de trafo, dan wordt de luidspreker gelijkluidend voorgesteld door Z_{aa} (2-e figuurtje). De buizen zelf hebben gezamenlijk een inwendige weerstand $R_{i,eff}$. De door de buizen geleverde spanning verdeelt zich over die $R_{i,eff}$ en Z_{aa} (de getransformeerde luidspreker) en over de zelfinductie L_p van de primaire wikkeling.

De stroom uit de buizen loopt door $R_{i,eff}$ en verdeelt zich vervolgens in de stroom door Z_{aa} en de stroom door L_p. De stroom door L_p is gelijk aan de magnetisatie stroom van de kern; deze stroom laat de magnetische gebiedjes rondtollen en bewegen. We noemen deze stroom ook wel de "excitatie stroom". 'Hoe groot is die stroom' en 'wanneer heb je daar last van' en 'hoe merk je dat je er last van hebt' en 'wat kun je daar tegen doen'? Dit zijn vier vragen tegelijk, maar het zijn wezenlijke vragen. De grootte van L_p kan met onderstaande formule worden berekend:

$$L_p = \frac{\left[\mu_0 \cdot (N_p)^2 \cdot A\right]}{\left(I_g + \frac{I_c}{\mu_r}\right)}$$

Hierin is $\mu_0 = 4 \times \pi \times 10^{-7}$ [Hm^{-1}] en μ_r is de relatieve magnetische permeabiliteit van het gebruikte kernmateriaal (met een waarde ergens tussen 200 en 40.000).

In de praktijk komen de volgende waarden van L_p voor:
Balans OPT: L_p ligt ergens tussen 100 en 1000 H; neem als voorbeeld L_p = 400 H.
Single ended OPT: L_p is in de omgeving van 30 H, want I_g is nu aanwezig om de ruststroom van de eindbuis op te vangen (de getalswaarde in de noemer van 1-2-1 wordt door I_g fiks groter, dus L_p wordt kleiner).

De impedantie (weerstand) die de spoel L_p levert aan een wisselspanning bij een frequentie f, wordt gegeven door:

$$Z_{Lp} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_p$$

Bij een gegeven wisselspanning v_p over de spoel L_p wordt de excitatiestroom i_{ex} gegeven door:

$$I_{ex} = \frac{V_p}{Z_{Lp}}$$

Stel nu dat we de optredende stromen gaan berekenen bij een frequentie van 20 Hz, een primaire impedantie $Z_{aa} = Z_a$ = 3500 Ohm en een primaire wisselspanning van 100 V_{rms}, dan levert dat de volgende tabel op:

Versterker	Balans	Single Ended
nuttige stroom in Z_{aa}	100/3500 = 29 mA	100/3500 = 29 mA
excitatie stroom in L_p	100/50265 = 2 mA	100/3770 = 27 mA
totale buisstroom	29 mA	40 mA

Tabel 1: Primaire stromen bij balans en single ended versterkers voor $Z_{aa} = Z_a$ = 3k5, $L_{p\text{-}balans}$ = 400H, $L_{p\text{-}SE}$ = 30H, v_p = 100V_{rms}, f = 20Hz

De berekening voor i_{totaal} wordt gegeven door formule 1-2-4, waarbij rekening gehouden wordt met het feit dat de stroom door Z_{aa} en de stroom door L_p onderling 90 graden uit fase zijn (de stroom in een spoel ijlt na).

$$I_{totaal} = \sqrt{\left[(I_{Zaa})^2 + (I_{Lp})^2\right]}$$

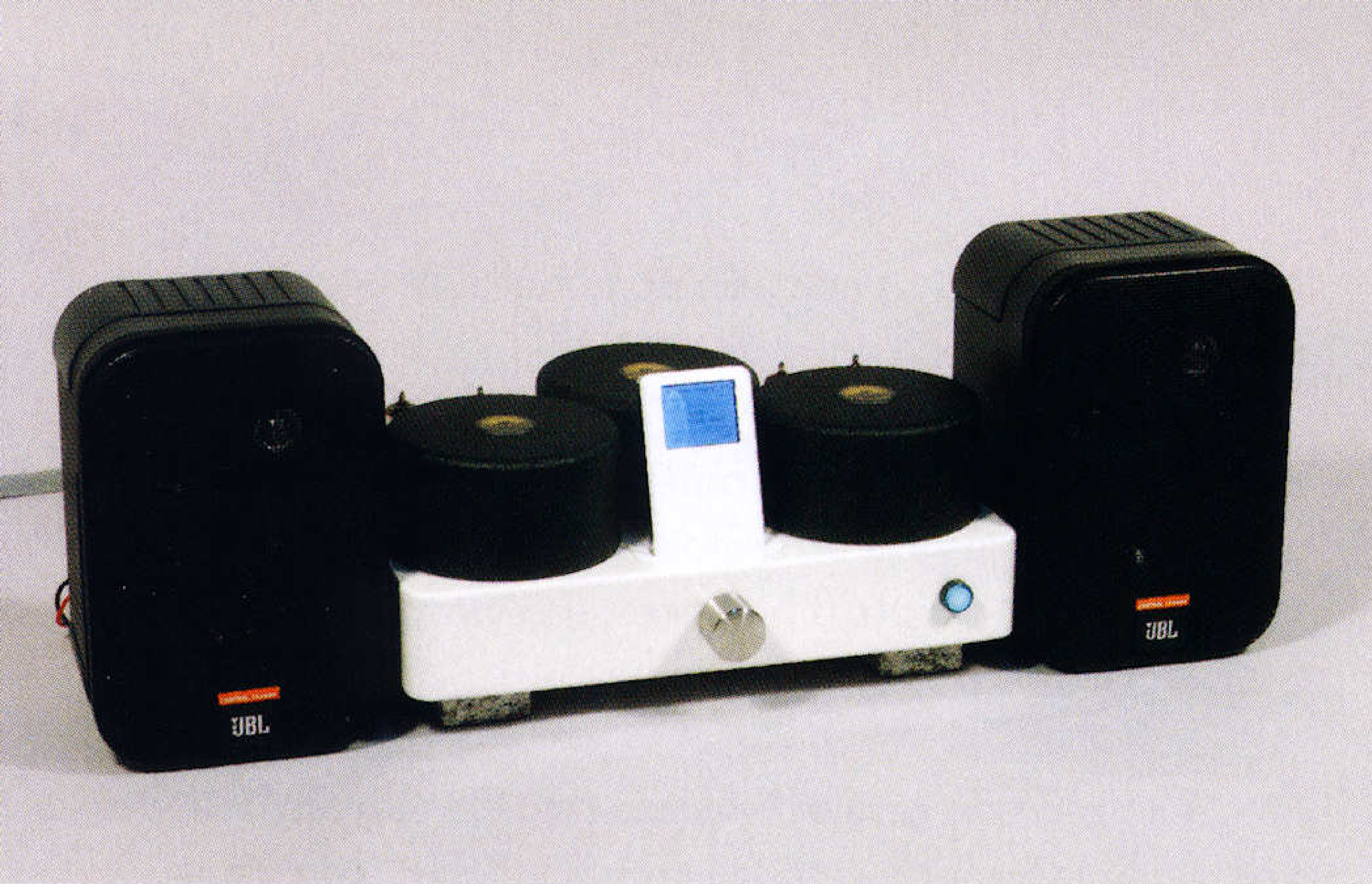
De uitkomst van deze eenvoudige berekening is eigenlijk schrikbarend. Bij lage frequenties in single ended versterkers heeft de eindbuis het bijna dubbel zo zwaar om die door de OPT te sturen. Dit verklaart waarom SE versterkers zo'n moeite hebben met strakke basweergave! Maar er gaat bij SE nog meer mis!

Doordat i_{Za} en i_{Lp} onderling 90 graden in fase verschillen, is i_{totaal} niet meer in fase met v_p en wordt de belastingslijn in de buiskarakteristiek een ellips, zie figuur 3. Bij uitsturing gaat die ellips vastlopen tegen de $i_a = 0$ lijn (de horizontale onderkant van de grafiek).

Dit kun je bij metingen herkennen aan een eenzijdige afvlakking van de laagfrequente sinus; zie figuur 4. Merk op dat hier geen sprake is van kernverzadiging, dat is heel wat anders.

Bovenstaande meting is verricht bij 50 Hz, waar dit verschijnsel zich al begint te openbaren. Deze afvlakking is identiek aan een sterkere 2-e harmonische vervorming. Dit verklaart nog eens extra waarom SE-basweergave niet strak maar wollig klinkt!

Balansversterkers doen deze laagweergave goed, mits de uitgangstrafo voldoende ruim bemeten is. We hoeven daar dus niet zo veel naar te kijken. Maar hoe lossen we dit hoorbare probleem op bij SE-versterkers?



Er zijn een paar routes: kies Z_a groter zodat de elliptische belastingslijn horizontaler verloopt en verder van de $i_a = 0$ lijn af komt te liggen (dit kost vermogen maar levert stukken lagere vervorming op) of zorg er voor dat Lp groter wordt. Dit laatste wordt zelden gedaan, want dat houdt in dat de kern van de SE-OPT onevenredig extra groot gekozen moet worden, waardoor de trafo nog een slag duurder en zwaarder wordt. Ook kan men nog het instelpunt verder naar links op de belastingslijn leggen (grotere stroom bij lagere anodespanning) waardoor bij uitsturing de ellips moeilijker de $i_a = 0$ lijn kan raken.

Conclusie: het probleem van de excitatiestroom treedt nauwelijks op bij balansversterkers. Daarentegen is het een heftig probleem bij SE-versterkers, dat oplosbaar is door de primaire impedantie groter te kiezen of door een extra grote transformatorkern te gaan gebruiken. Een derde oplossing is een meer naar links gelegen ruststinstelling.

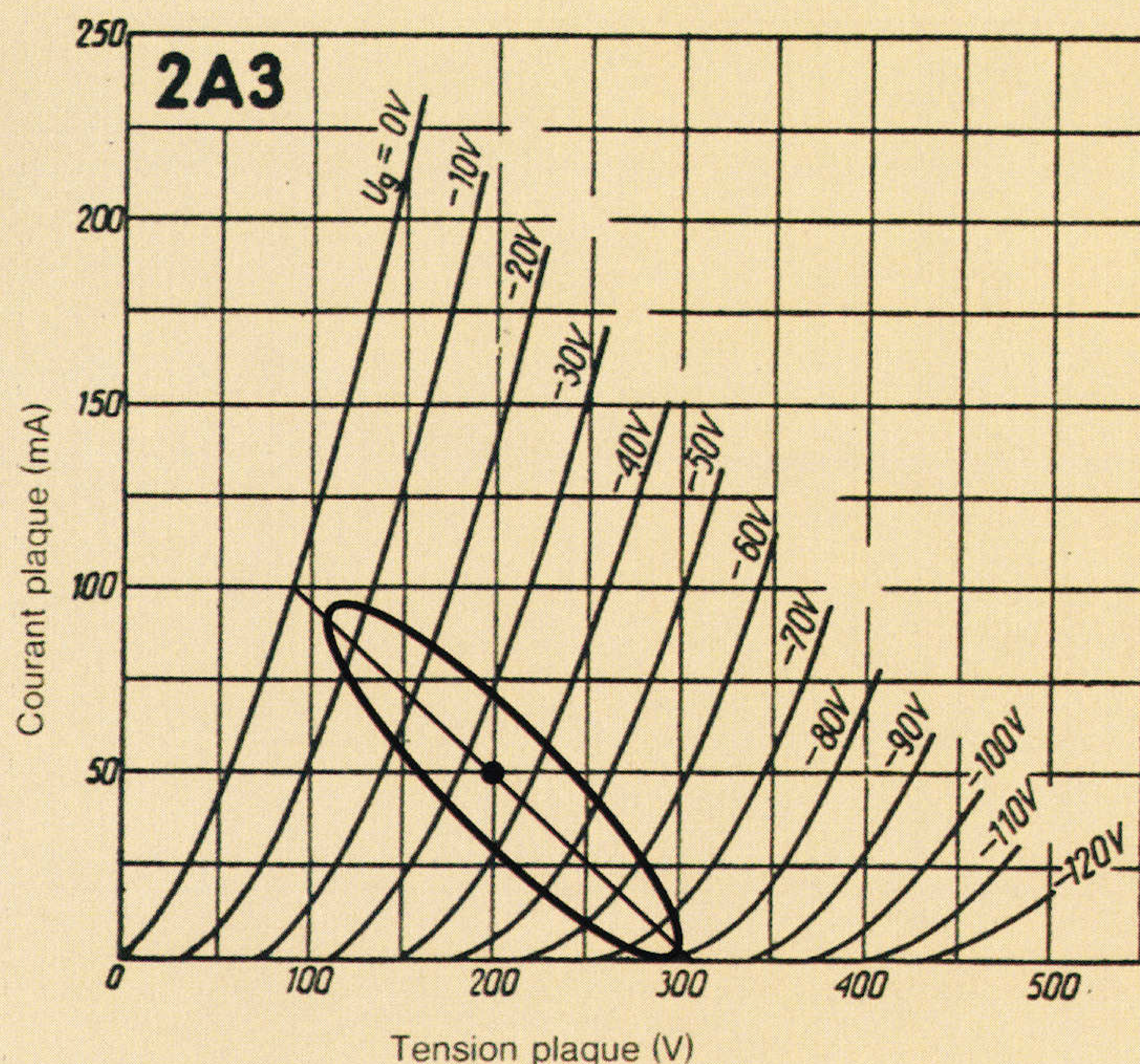
Nog een conclusie: SE hoeft niet wollig en onstrak in de basweergave te klinken. Als dit wel zo is, dan is het excitatieprobleem niet goed onderkend en opgelost.

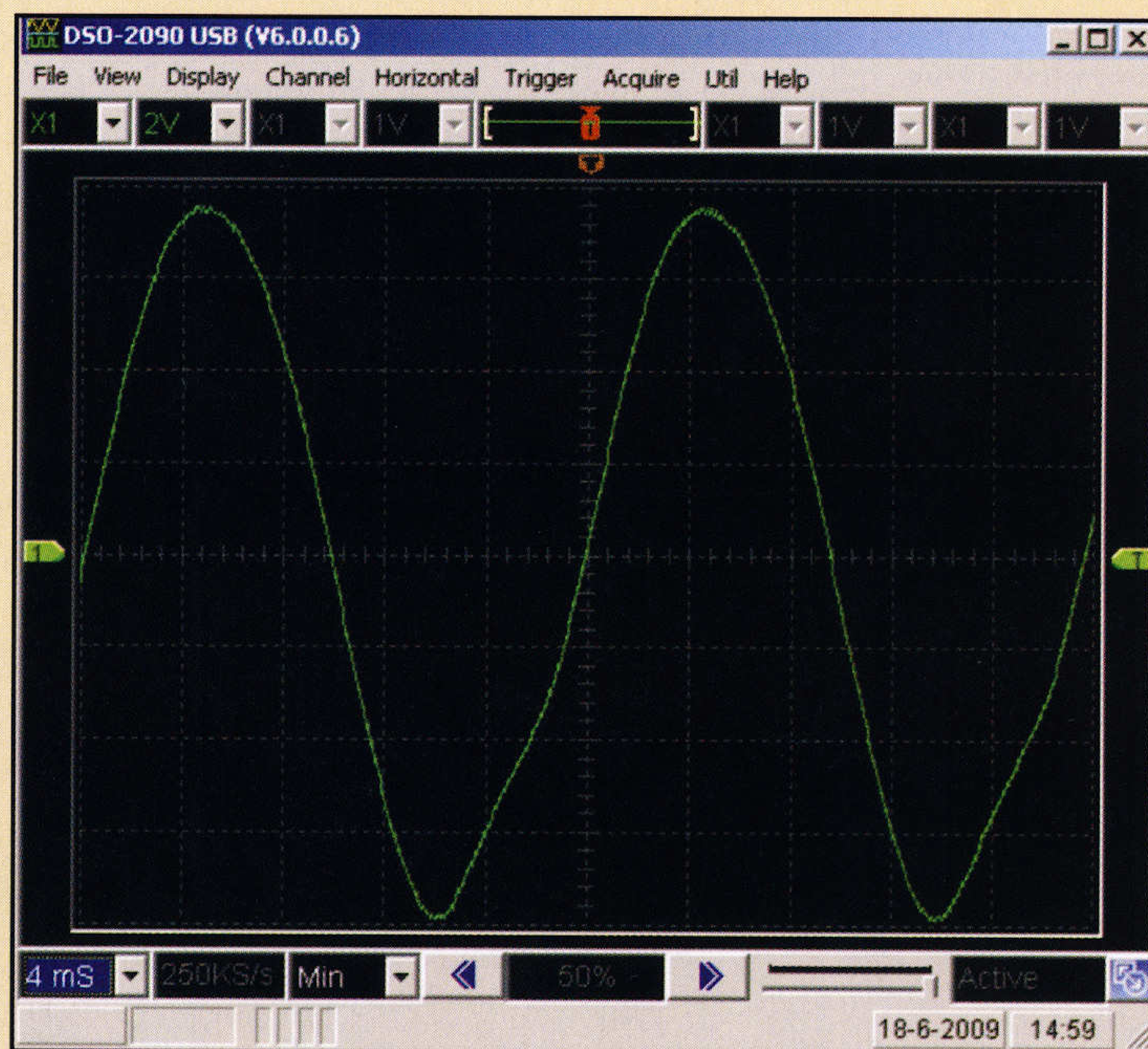
Merk overigens op dat tegenkoppeling dit probleem niet kan oplossen, want er is geen signaal ruimte aanwezig om de afwijking te corrigeren.

Bij mijn ringkernen (ik ben vooral ook een trafo-ontwikkelaar) heb ik het probleem bij vol vermogen opgelost door de eenzijdige vastloop pas onder 30 Hz te laten optreden. Dat is een keuze, een soort balans tussen de vele tegenstrijdige eisen. Maar de keuze is zinnig omdat in "normale" muziek niet zoveel geluidsenergie onder 30 Hz aanwezig is. Daarbij ga ik er van uit dat de ontwikkelaar van de SE versterker het rustpunt op de belastingslijn iets meer naar links kiest (zie figuur 3).

Kernmateriaal en de weergave van micro details

De uitgangstransformator speelt ook een hoofdrol in het kunnen horen van details, vooral microdetails die nagenoeg in de ruisvloer liggen. De eerste oorzaak van dit verschijnsel ligt in het afnemen van de permeabiliteit (beweeglijkheid) mr van het kernmateriaal bij geringe flux dichtheden. In de Elektor Audio Special van 2009 heb ik hierover reeds uitvoerig geschreven, dus hoeft het nu niet nog eens. Zie ook (4).





Gelijkheid van ruststromen

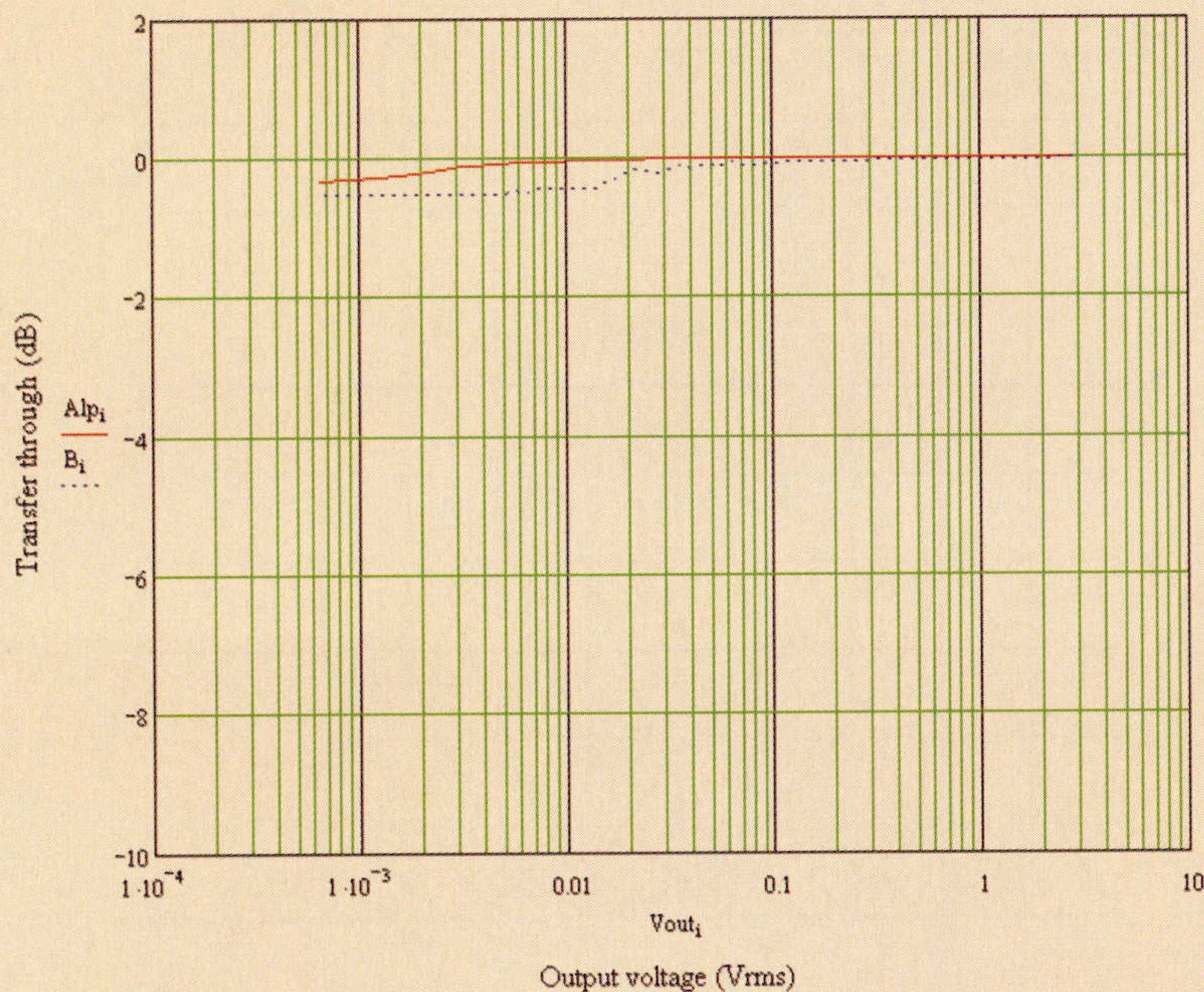
In een balansversterker lopen de DC-ruststromen door de eindbuizen magnetisch gezien "tegengesteld" door de primaire wikkeling, waardoor er geen magnetisatie van de kern optreedt. Zo blijft alle magnetische ruimte in de kern beschikbaar voor de doorgifte van wisselspanningen.

Als de ruststromen ongelijk zijn werkt dit op twee manieren door. De "headroom" voor wisselspanningen neemt zeer snel af, waardoor extra vervorming optreedt. En de weergave van microdetails neemt aanzienlijk af.

Om ongelijkheid van de ruststromen op te vangen, zou men eigenlijk de primaire wikkeling van de uitgangstrafo een gering aantal N_p windingen moeten geven. Maar ...

Figuur 3: Elliptische belastingslijn die snel rechtsonder vastloopt.

Figuur 4: Eenzijdige onderafvlakking bij SE versterkers



Figuur 5: **Constantheid van versterking: rood: dI0 = 0,0 mA ; groen: dI0 = 1 mA (Meting van Lukasz Jaszcuk)**

dan wordt de zelfinductie L_p kwadratisch kleiner, met als resultaat dat de basweergave drastisch wordt aangetast. Hier hebben we een sprekend voorbeeld van tegenstrijdige eisen.

Of men zou de kern een spleet kunnen geven, want dan heeft verschil in ruststromen ook weinig invloed. Echter opnieuw ontstaat hier het ongewenste probleem van een afnemende L_p.

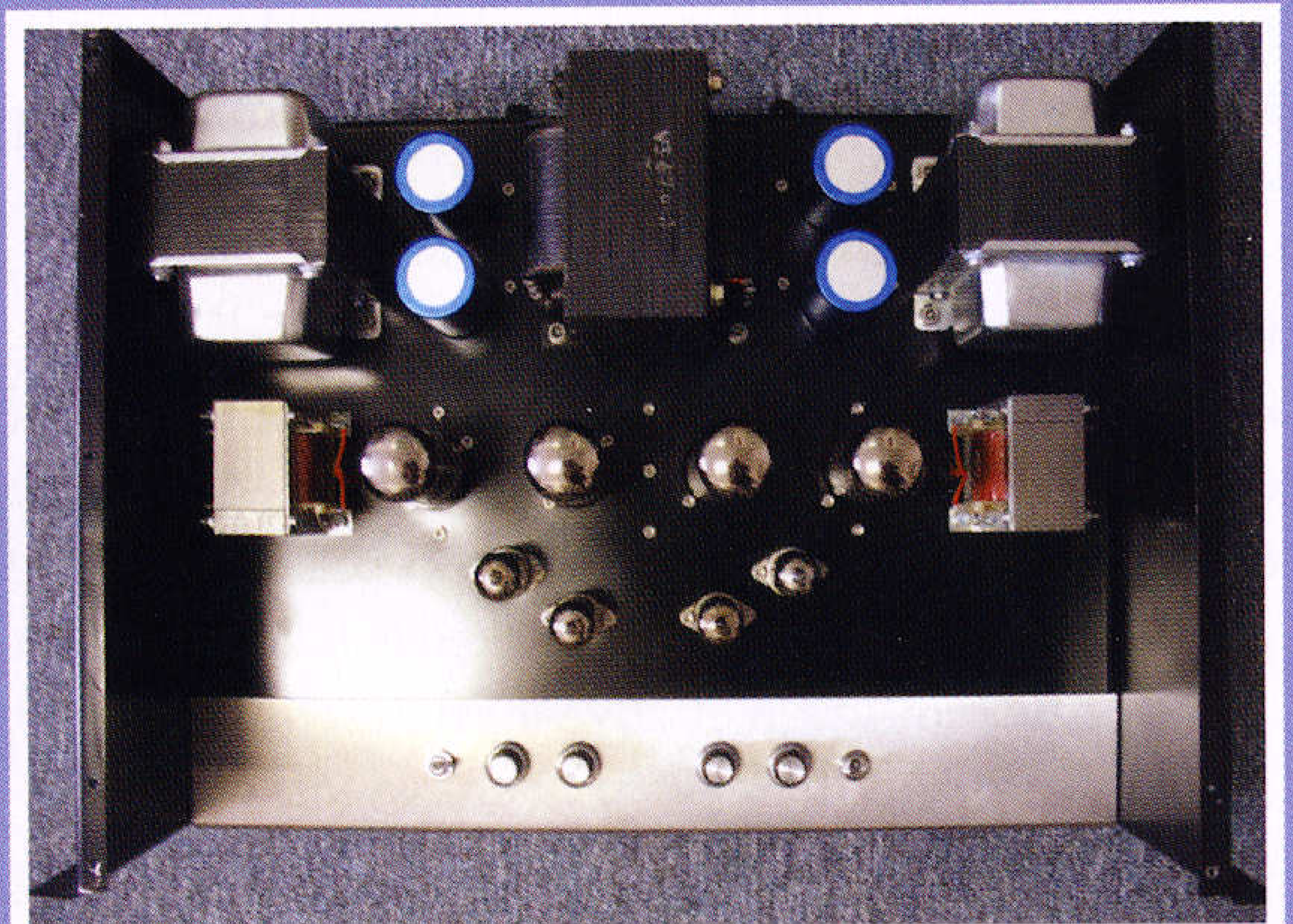
Dus, men kan maar beter de eis stellen dat de ruststromen exact aan elkaar gelijk zijn en ten allen tijde aan elkaar gelijk blijven; onder die conditie is dit probleem uit de wereld geholpen.

Hoeveel mogen de ruststromen maximaal van elkaar afwijken? Bij mijn ringkerntrafo's mag het verschil maximaal 0,1 mA bedragen. Is het meer, dan wordt dit meetbaar en hoorbaar. Dit is een zware eis!

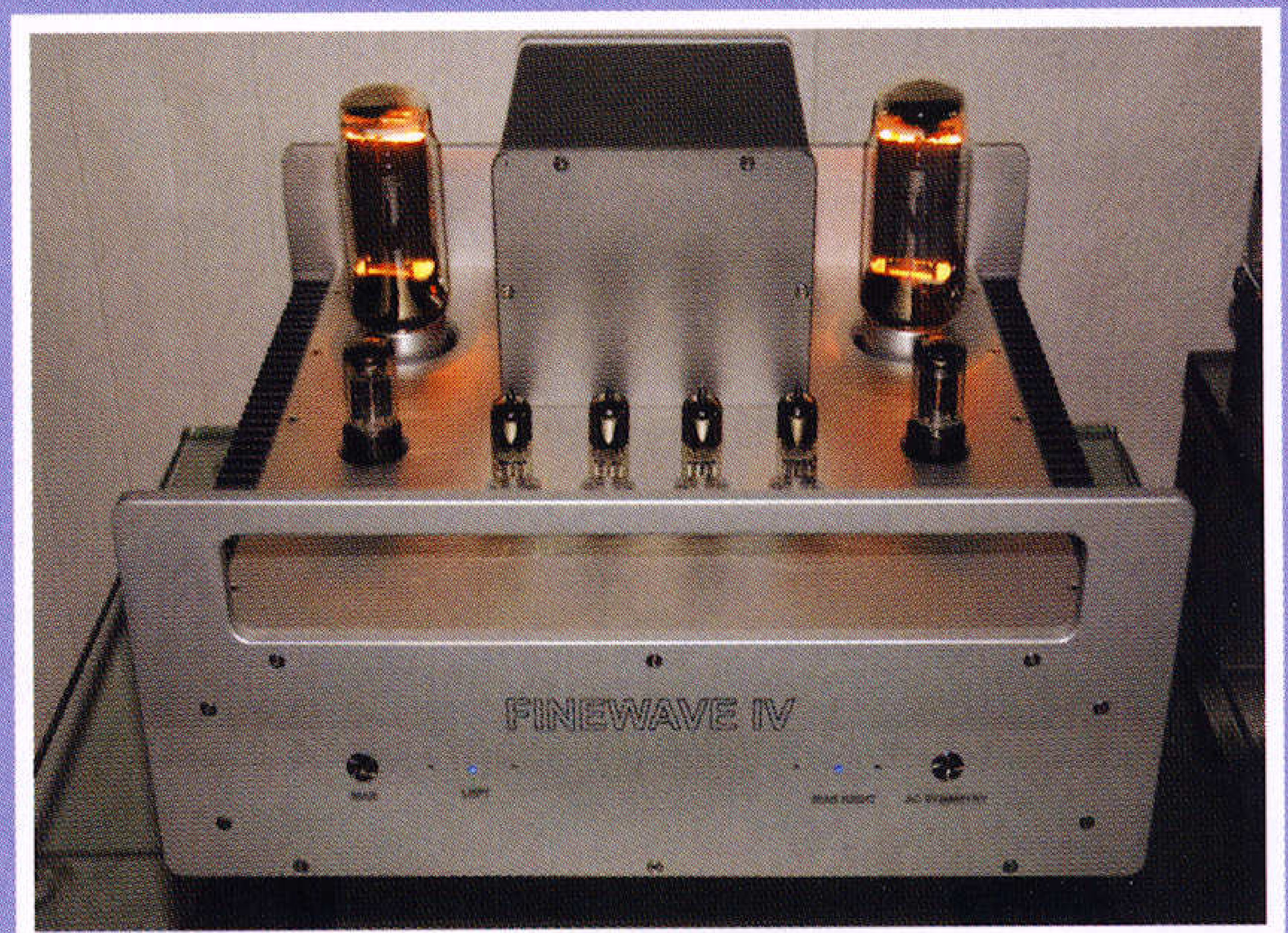
Stel: men gebruikt gepaarde buizen (zijn die morgen ook nog gepaard?) met exact gelijke ruststroom instelling, door middel van een gezamenlijke kathodeweerstand met daar overheen een kathode elco. Als men nu het volume van de weer te geven muziek opdraait, stijgt de stroom door de eindbuizen en stijgt ook de spanning over de gezamenlijke kathodeweerstand plus elco. De buizen komen in een ander instelpunt terecht en het is maar de vraag of ze in dit andere punt ook gelijke ruststromen hebben. Het is mijn ervaring dat dit nooit het geval is. Ik ben nog nooit eindbuizen tegengekomen die exact gelijke karakteristieken hebben. Dus in rust zijn de stromen misschien gelijk, tijdens muziekweergave zeker niet en ...wordt de kern dus extra gemagnetiseerd. Dit is GEEN goede oplossing (het is hoorbaar dat er fouten optreden).

Stel men gebruikt exact gepaarde buizen met een elektronische vergelijkingsschakeling die elk moment de gemiddelde spanning over de kathodeweerstand per buis meet en die spanningen onderling vergelijkt en middelt en daarmee de ruststromen gelijk houdt. Werkt dat dan? Nee, want de bijregeling is altijd te laat door de vertragingstijd van de middeling, en ook hier verschuift het werkpunt met het uitgangsvermogen.









Hoe dan verder? Gebruik mijn Vanderveen-Tentlabs autobias schakeling. De werking ervan wordt uitvoerig in (2) besproken. Die module middelt niet, die vertraagt niet, deze meet in een minuscuul klein venster rondom de gewenste ruststroom en die trekt zich niets aan van de mate van uitsturing van de eindbuizen, het werkpunt blijft dus constant. Hiermee heb ik dit bekende probleem in zijn basis aangepakt en opgelost.

Hoe kunnen ongelijke ruststromen de weergave van microdetails aantasten? De redenering is eenvoudig: ongelijke ruststromen maken de beweeglijkheid minder van de magnetische domeinen in de kern; dit is identiek aan een afname van de relatieve magnetische permeabiliteit van het kernmateriaal. Daardoor daalt de zelfinductie (zie hiervoor) van de primaire wikkeling. Dit veroorzaakt een extra verzwakking in de uitgangstrafo vooral tussen 20Hz en 1 kHz; zie mijn Audio Special publicatie van 2009.

De meting in figuur 5 toont hiervan een voorbeeld: de rode lijn is de constantheid van versterking bij exact gelijke ruststromen, de groene lijn is voor ongelijke ruststromen (het verschil is hier slechts 1 mA). Duidelijk is zichtbaar dat de optredende verzwakking zich dan over een breder spanningsgebied (factor 10 breder, dus 20 dB in de diepte van de weergave) uitstrekt. De microdetail weergave is drastisch verslechterd.

Samenvattend: constantheid en gelijkheid van ruststromen is voorwaardelijk voor goede weergave van microdetails. Het is onverstandig om ongelijkheid van ruststromen toe te staan, met welk type uitgangstrafo men ook werkt. Het opvangen van ruststroom verschillen in de OPT valt zeer af te raden.

Problemen bij sprongvormige signalen

Een ontzettend oude regel zegt: "ontwerp een transformator zo dat bij maximum vermogen bij de laagste frequentie slechts $0{,}5 \times B_{max}$ aan fluxdichtheid in de kern aanwezig is".

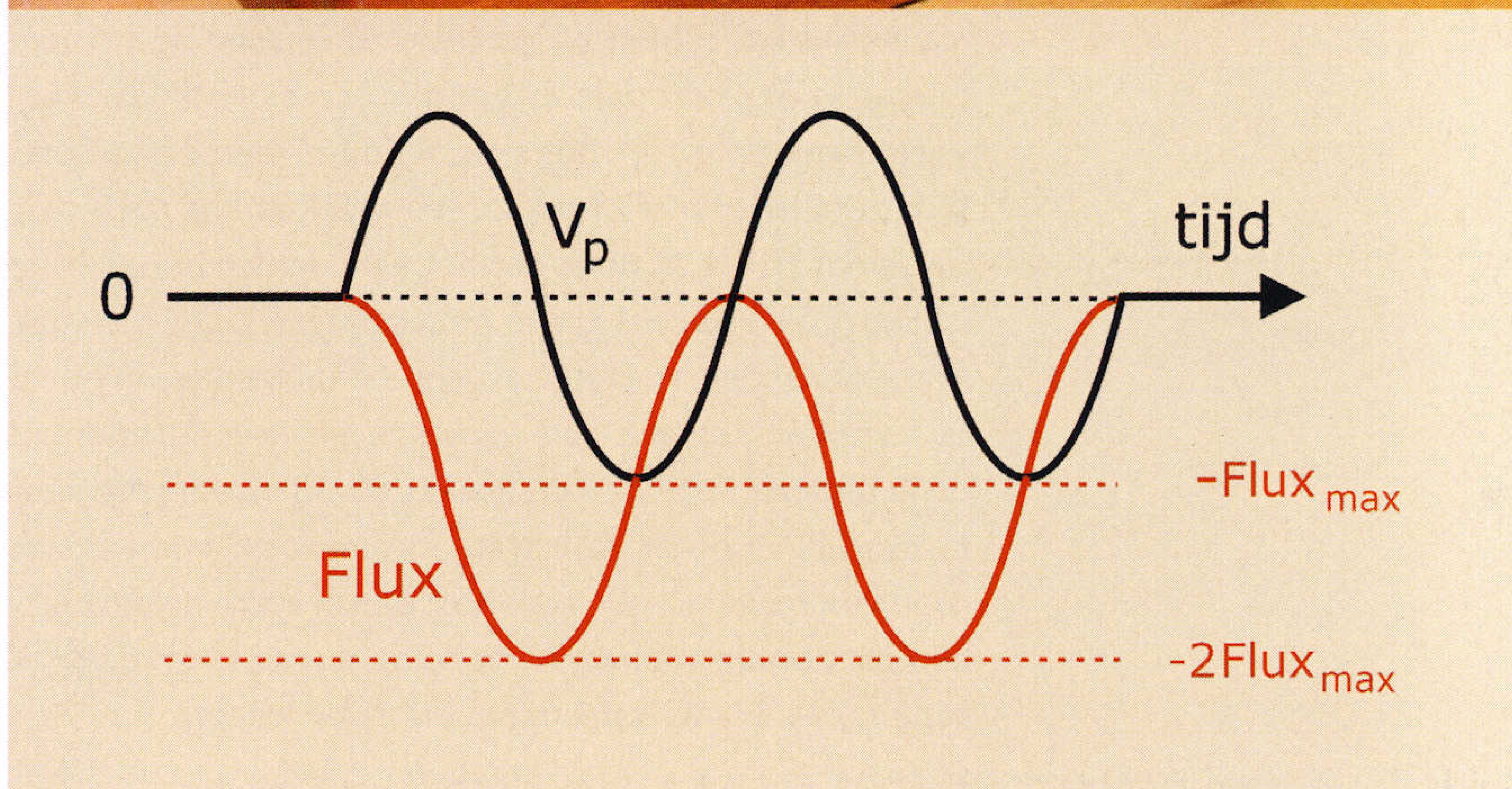
Voor single ended trafo's is dit logisch omdat de andere overgebleven helft van de fluxdichtheid gebruikt wordt voor het opvangen en verwerken van de ruststroom door de eindbuis.

Maar de regel geldt ook voor balans trafo's: waarom is dit het geval en wat voor invloed heeft dit op de signaalverwerking? Alhier weer opnieuw de beroemde vragen, en ik kan nu al voorspellen dat we hier een typisch item betreffende buizengeluid te pakken hebben.

De verklaring luidt als volgt: de primaire wisselspanning is de afgeleide in de tijd van de flux Φ_{total} (= $B \times A \times N_p$) in de kern. Dit wordt uitgedrukt door de volgende formule:

$$v_p = \frac{-d\Phi_{total}}{dt}$$





Figuur 6:
De flux in de kern bereikt 2 maal zijn maximale waarde.

Hier wordt dus gedifferentieerd. In gewone taal: de flux moet met de tijd veranderen wil je wisselspanning krijgen (en omgekeerd). Dat klopt ook, want we weten dat de transformator niet met gelijkspanning werkt, alleen met wisselspanning doet hij het.

Dit betekent tevens (omgekeerd redeneren) dat de flux in de kern gelijk is aan de integraal van de wisselspanning van eeuwig geleden tot aan het moment nu; zie onderstaande formule (een trafo heeft dus een lekkend geheugen):

$$\Phi_{total} = \int_{past}^{now} -v_p \, dt$$

Figuur 6 laat nu zien wat er in de kern gebeurt als er een sprongvormige sinusspanning wordt aangeboden. We gaan er daarbij van uit dat bij de start van het signaal geen restflux in de kern aanwezig was (deze aanname is zeker bij voedingstrafo's lang niet altijd geldig).

Duidelijk is hier zichtbaar dat de wisselspanning wisselt tussen $+V_{max}$ en $-V_{max}$, keurig symmetrisch rondom de nullijn. De flux daarentegen wisselt tussen 0 en $-2 \times \Phi_{max}$, dus volledig onder de nul as met twee maal zijn maximale waarde. Om deze maximale flux correct in de kern te kunnen realiseren moet er dus dubbele magnetische ruimte zijn voor flux en fluxdichtheid. Vandaar de regel dat men moet ontwerpen op $0{,}5 \times B_{max}$ om voor sprongvormige signalen voldoende fluxruimte in de kern aanwezig te hebben.

Toch zijn er maar weinig ontwerpers die deze oude regel in acht nemen, want deze houdt in dat de kern van de OPT vier maal zo zwaar gekozen moet worden, en dat is toch wel erg veel ijzer.

De tweede reden waarom men het niet doet is dat hierdoor de verslechtering van de microdetail weergave een factor 2 eerder optreedt (dus op een 6 dB hoger geluidsniveau), en dat is zeker ongewenst.

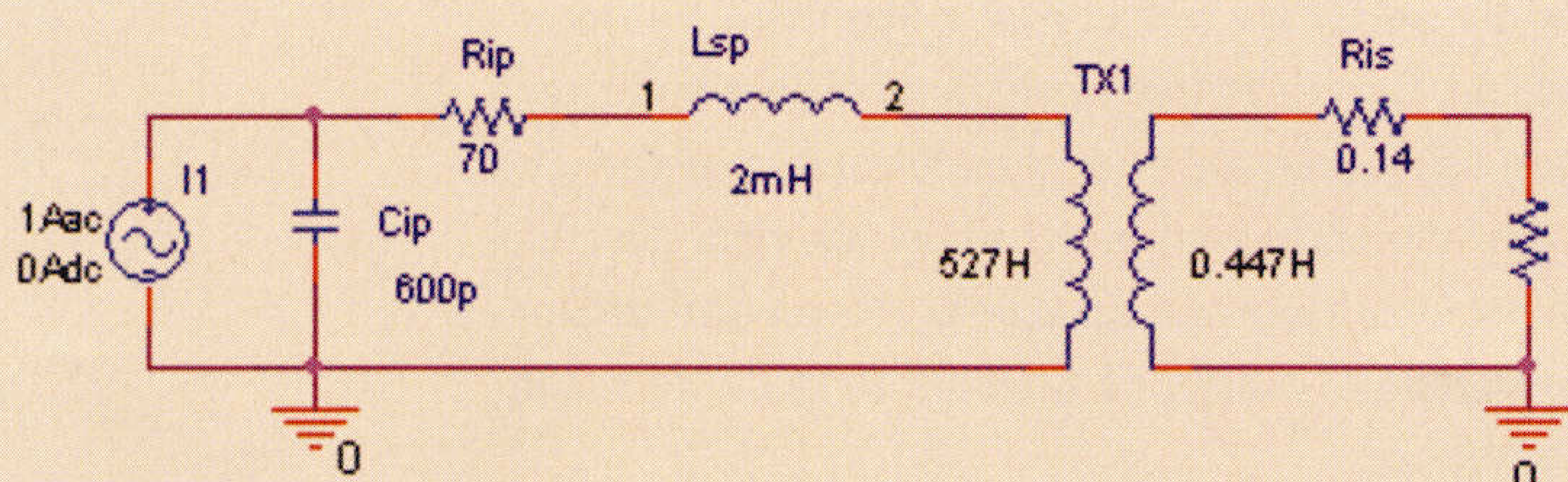
Hoe benadert men deze problematiek dan? Het verschijnsel treedt alleen op bij pulsvormige signalen van korte duur. Want bij langdurige sinusvormige signalen schuift de fluxgrafiek langzamerhand naar boven, rondom de nulas, omdat de DC fluxcomponent langzaam uit de kern weglekt. Dus daar treedt het probleem nauwelijks op. Echter, bij kortdurende pulsen op vol vermogen is ons oor niet zo goed in staat om aldaar vervormingen te horen, het signaal duurt gewoon te kort. Dus zegt men: laat maar zo, we merken het toch niet op. Is dat zo? Ja, ik denk dat het een zinnige benadering is. Denk als voorbeeld aan hedendaagse CD's die vaak kortstondig oversturen (om grotere subjectieve luidheid te bereiken) en dat valt vanwege de kortdurendheid bijna niemand op. Tevens treedt de pulsweergave aantasting alleen op bij de laagste frequenties , want aldaar is de flux maximaal. En ook nog: de vervorming die hierbij kortstondig ontstaat is mede de oorzaak van de typische buizenklank, waar niemand over klaagt.

Hoe ga je hier als ontwerper van buizenversterkers mee om? Heel eenvoudig: stel je maakt een 40 Watt buizenversterker. Je luistert gemiddeld bij een vermogen van 1 Watt, dat afhankelijk van de luidspreker al een SPL van ongeveer 90dB oplevert, wat ruim voldoende luid is. Bij 10 Watt (kwart van het maximale vermogen) zit je dan laagfrequent op de helft van B_{max}. Je luistert nu op een niveau van $0{,}5 \times B_{max}$ en een luidheid van $100dB_{SPL}$. Dit is al heel pittig luid. Mocht er dan nog een signaalburst tot 40 Watt komen dan staan je oren al helemaal krom van het lawaai en hoor je echt niet meer vervormingvrij.

Maar draai deze redenering eens om: begin met een luidspreker van 80dB/W,m. Om 90 dB_{SPL} te verkrijgen moet je de versterker al 10 Watt laten leveren. Ga je op een nog hoger vermogensniveau luisteren, dan loop je bijna continu aan tegen de laagfrequente vervorming van sprongvormige signalen. Daarom klinken laagrendement luidsprekers niet prettig met buizenversterkers!

De trafo is een filter

Onderstaand figuur toont een geschikt vervangingsschema van een OPT bij hoge frequenties.



Figuur 7: Vervangingsschema van een ringkern OPT (naar uitwerking van Bart van der Laan)

Laagfrequent speelt L_p de hoofdrol; $L_p/L_s = (N_p/N_s)^2$ geeft de windingsverhouding aan. De altijd aanwezige koperdraad verliezen worden weergegeven door R_{ip} en R_{is}. Hoogfrequent spelen C_{ip} en L_{sp} de hoofdrol. Deze twee bepalen samen met de inwendige weerstanden van de eindbuizen $R_{i,eff}$ en de secundaire belasting Z_s het frequentiebereik en de mate van hoogfrequente opslingering, die ook wil "ringing" genoemd wordt, weergeven door de zogenaamde Q-factor.

In (2) bespreek ik in hoofdstuk 4.8 en volgt uitgebreid welke formules geldig zijn. Hoofdstuk 4.12 behandelt de onderhavige theorie inzichtelijk met rekenvoorbeelden. Dat alles hoef ik hier niet te herhalen. Wel wijs ik er op dat door toevoeging van een extra capaciteit parallel aan de primaire wikkeling de ringing krachtig onderdrukt kan worden. Hoe dat precies moet staat in (2).

Conclusie

In eerste instantie lijken uitgangstransformatoren eenvoudig te berekenen, maar die eenvoud is bedrieglijk. De excitatiestroom bij lage frequenties maakt het de eindbuizen in single ended versterkers erg moeilijk; ze moeten extra stroom leveren die in de trafo verdwijnt. Dit verklaart waarom SE versterkers moeite hebben met strakke basweergave. Om de microdetails goed te kunnen horen is gelijkheid van ruststromen door de eindbuizen in een balansversterker een absolute must. Vooral laagfrequente sprongvormige signalen kunnen de kern van de uitgangstrafo verzadigen, waardoor een "warme" vervorming ontstaat, kenmerkend voor de buizenklank. Maar willen we dat wel? De uitgangstrafo gedraagt zich als een banddoorlaat filter, wat klankaantasting kan inhouden. Hier is zeker wat aan te doen.

Opmerking: de foto's bij dit artikel zijn afkomstig van enthousiaste zelfbouwers, verspreid over de hele wereld. Ze tonen hoe levendig de buizenhobby is en welke fantastische producten op zolderkamers en in kelders worden gemaakt.

Literatuur

(1). Menno van der Veen: "Moderne High-end Buizenversterkers"; Elektor digitale versie, ISBN 90-5381-089-7

(2): Menno van der Veen: "Moderne High-end Buizenversterkers 2"; Elektor ISBN 90-5381-204-0

(3): www.mennovanderveen.nl

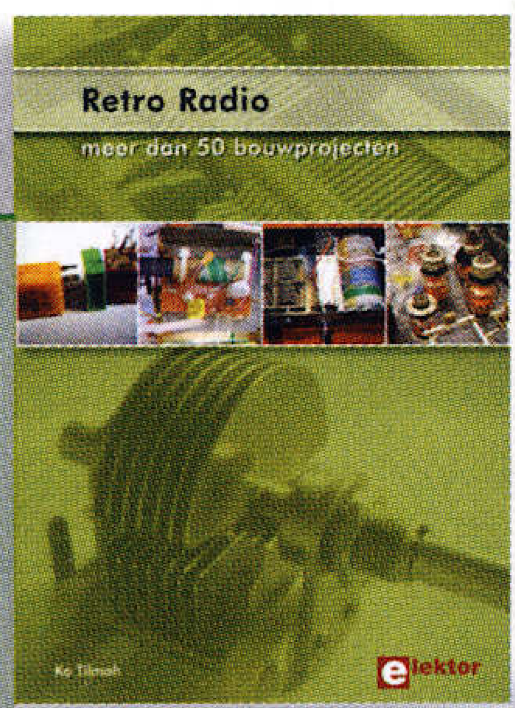
(4): Menno van der Veen: "Low level audio signal transfer through transformers conflicts with permeability behavior inside cores"; AES paper 7125, 2007 Vienna: download at (3) or at www.aes.org. De nederlandstalige versie van dit artikel is gepubliceerd in de Elektor AudioSpecial 2009 en in 5).

(5): Menno van der Veen: "Ontwerpen van Buizenversterkers"; Elektor ISBN 978-90-5381261-7

(6): Contact: info@mennovanderveen.nl

100% Audio

Verplichte kost voor audioliefhebbers

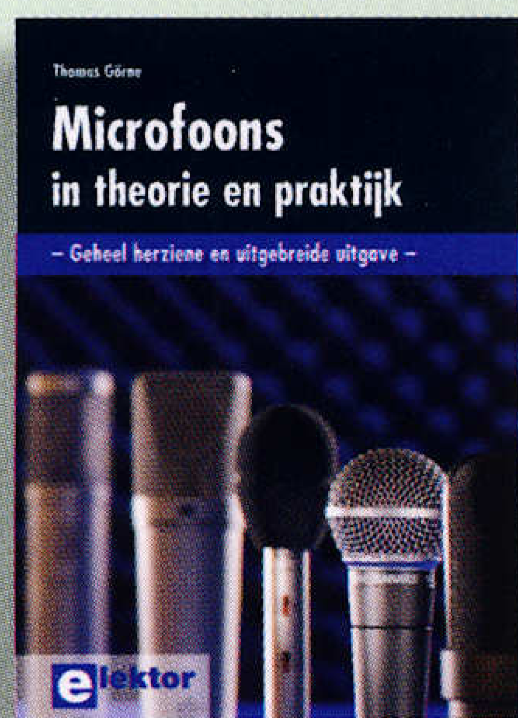


Meer dan 50 bouwprojecten

Retro Radio

Een boek voor iedereen die een radio zou willen bouwen en meer wil weten over radiotechniek. Na een inleiding in de beginselen van de techniek en de radio ontvangst op de korte golf worden een aantal eenvoudige radio ontwerpen beschreven. Het "retro" karakter dankt het boek aan het feit dat de gepubliceerde schakelingen klassiekers zijn uit de analoge radiotechniek en dat al het "overbodige" uit de schakelingen is weggelaten. De auteur grijpt terug op de radio in zijn meest elementaire vorm.

208 pagina's • ISBN 978-90-5381-234-1 • € 29,95



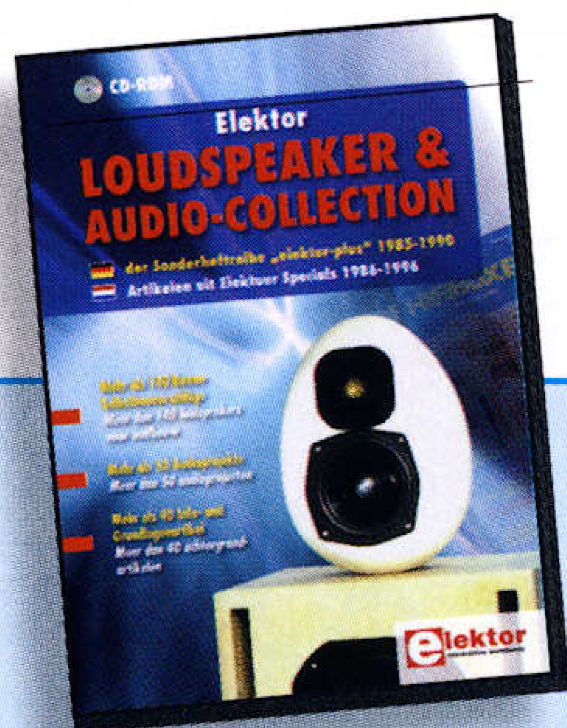
Test... 1,2,3... test

Microfoons in theorie en praktijk

Dit boek begint met een inleiding in de geluids- en microfoontechniek. De werking en aansluittechniek, én zaken als stereo- en surround-opnamemethoden komen aan bod. Daarna gaat auteur Thomas Görne in op het gebruik van microfoons in de praktijk. Naast tips voor de keuze van de juiste microfoon en een uitgebreide bespreking van typische problemen bij de opstelling van microfoons, wordt ook het gebruik van microfoons in de studio, op het podium en bij filmopnamen behandeld. De uitgebreide index en de vele nuttige tips maken het boek tot een praktijkgericht naslagwerk.

336 pagina's • ISBN 978-90-5381-230-3 • € 34,50

Boeken



23 Audio Specials uit het Elektor archief

CD-ROM Loudspeaker & Audio Collection

De Elektuur Luidspreker- en Audio Specials waren tussen 1986 en 1996 bijzonder populair onder de audioliefhebbers. Nu nog krijgen we vragen over de verkrijgbaarheid van de artikelen van destijds. Helaas zijn de specials niet meer leverbaar. De revival van ,oude stijl'-audio heeft ons doen besluiten de oorspronkelijke uitgaven (12 Nederlandse en 11 Duitse specials) te digitaliseren, zodat ook in dit millennium deze interessante bijdragen op CD-ROM toegankelijk blijven. Enkele klassiekers op de CD-ROM zijn: Prelude, Crescendo, Preamp en Audio Valve PPP30. Daarnaast treft u meer dan 140 artikelen aan over zelfbouw-luidsprekerboxen, alsmede een groot aantal achtergrondartikelen over de audiotechniek. Deze kennis is nog steeds actueel en de CD-ROM is een ideale informatiebron voor alle audioliefhebbers.

ISBN 978-90-5381-238-9 • € 38,50

CD-ROM

Bestel snel, eenvoudig en veilig via onze online shop:
www.elektor.nl

elektor

Elektor International Media BV
Postbus 11 • 6114 ZG Susteren
Tel. +31 (0)46 - 43 89 444
Fax +31 (0)46 - 43 70 161
E-mail: verkoop@elektor.nl

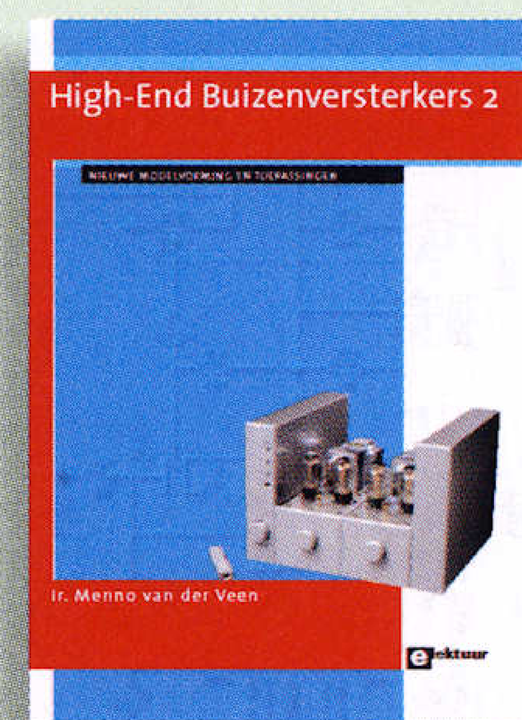


Meer dan 800 pagina's

Fundamentele versterkertechniek

Na de inleiding volgt een hoofdstuk over de grondbeginselen van elektronenemissie. Daarna komen diode, triode, tetrode en penthode aan bod. Vervolgens kijkt de auteur naar de grenzen van audiofrequenties en legt hij uit hoe het zit met niet lineaire vervorming en ruis. Als laatste komen tegenkoppeling en het bouwen van elektronenbuizenversterkers aan de orde. Veel theorie wordt getoetst aan de praktijk en ontwerpmethodieken geven de lezer een kapstok om zelf aan de slag te gaan als ontwerper en bouwer van elektronenbuizenversterkers.

805 pagina's • ISBN 978-90-5381-226-6 • € 89,00



Nieuwe modelvorming en toepassingen

High-End Buizenversterkers 2

In dit boek gaat auteur Menno van der Veen via een systematisch theoretisch onderzoek na waar de fraaie eigenschappen van buizenversterkers vandaan komen. Hij presenteert nieuwe theorieën en oplossingen voor een perfecte audiokwaliteit met buizenversterkers. Het boek bevat verder toepassingsvoorbeelden, wetenswaardigheden rondom buizenversterkers, vele schema's en nieuwe ontwerpen van buizen-voor-en eindversterkers.

416 pagina's • ISBN 978-90-5381-204-4 • € 44,50

Boeken

Prelude voor-versterker

Minimalisme in optima forma



DOOR SANDER SASSEN

Het is alweer enige jaren geleden dat in de eerste Audio Special de ExtremA eindversterker werd gepresenteerd. Deze 100W klasse-A eindversterker was ontworpen met als doel het onderste uit de kan te halen wat betreft vervormingscijfers en een zo compromisloze weergave. Ondanks de opmars van klasse-D versterkers is de ExtremA eindversterker wat dat betreft echter nog steeds ongeslagen. Het jaar erop werd een voorversterker gepubliceerd, de RelaixeD, die hier prima mee combineerde, maar nogal complex was van opbouw en bestond uit een groot aantal onderdelen, onder andere een heleboel miniatuur relais en een aantal microcontrollers.

In deze Audio Special willen we graag tegemoet komen aan de wens van veel ExtremA bezitters voor een minimalistische voorversterker.We gaan daarbij uit van dezelfde ontwerpfilosofie die ten grondslag lag aan de ExtremA, waarbij we alles in het werk stellen om zo laag mogelijke vervormingscijfers en een zo compromisloos mogelijke weergave te realiseren. Uiteraard is deze voorversterker niet alleen te gebruiken met de ExtremA maar met iedere eindversterker voorzien van een gebalanceerde ingang zoals bijvoorbeeld de populaire Hypex UcD eindversterker modules.

Concept en ontwerp

Voor degenen die bekend zijn met het ExtremA eindversterker ontwerp is gelijk duidelijk dat deze versterker volledig gebalanceerd is opgebouwd en zo met professionele (studio)apparatuur gecombineerd kan worden voor een zo optimaal mogelijke reproductie van de opname. De Prelude voorsterker wijkt daar niet vanaf, ook hier gaan we uit van een volledig gebalanceerd ontwerp waarbij we zoveel mogelijk gebruik maken van discrete onderdelen. Geheel in lijn met het minimalistische karakter en gezien het feit dat een CD-speler vandaag de dag voor kwaliteitsweergave feitelijk het alleenrecht heeft, ontbreekt bij deze voorversterker dan ook een ingangskeuzesectie en is er alleen een enkele gebalanceerde ingang beschikbaar. Kortom een ontwerp puur geënt op optimale geluidskwaliteit zonder enige opsmuk of poespas.

Dat zegt overigens niet dat er niet meer bronnen aangesloten zouden kunnen worden, of dat de voorversterker ongeschikt is voor reguliere, niet gebalanceerde, bronnen. Dit vergt in dit geval echter een stuk eigen initiatief van de zelfbouwer. De auteur heeft deze voorversterker namelijk ontworpen met de gedachte dat de meest minimalistische audio installatie bestaat uit een CD-speler met gebalanceerde uitgangen, een voorversterker, een eindversterker en een set hoogwaardige luidsprekers.

De basis van het ontwerp van iedere gebalanceerde voorversterker is een volumeregelaar met een exacte gelijkloop voor beide gebalanceerde signalen, en het linker en rechter kanaal onderling, alleen door een zorgvuldige implementatie hiervan wordt er optimaal gebruik gemaakt van de voordelen van gebalanceerde signaaloverdracht. Bij de RelaixeD is dit gerealiseerd met relais en precisie weerstanden, in dit ontwerp is gekozen voor

een viervoudige 24-staps stappenschakelaar voorzien van metaalfilm SMD weerstanden met 0.1% tolerantie.

De hier toegepaste stappenschakelaar is van de Deense fabrikant DACT en biedt een gelijkloop van +/-0.05dB en een uitmuntende mechanische constructie, volledig in lijn met de compromisloze opbouw en werking waar we voor dit ontwerp voor hebben gekozen. Het enigste nadeel van een dergelijke met grote precisie vervaardigde stappenschakelaar, is de prijs. Helaas zijn er echter geen goedkopere alternatieven voorhanden die vergelijkbaar zijn in werking en constructie.

Discrete opbouw

De rest van de voorversterker is feitelijk om de stappenschakelaar heen ontworpen waarbij in eerste instantie is uitgegaan van een volledig discreet opgebouwde gebalanceerde Opamp. Na uitvoerige metingen en het ontwerp meerdere malen tegen het licht te hebben gehouden kwam de auteur echter tot de conclusie dat de National Semiconductor LME49720 dubbele Opamp toch echt een beter resultaat gaf dan de met veel moeite ontworpen en geoptimaliseerde discrete Opamp. Een ander voordeel was het feit dat pakweg 50 transistoren en evenzoveel weerstanden en andere passieve componenten ingeruild konden worden voor twee Opamps in DIP8 behuizing, dat biedt toch ook duidelijke voordelen voor de nabouwzekerheid van dit ontwerp.

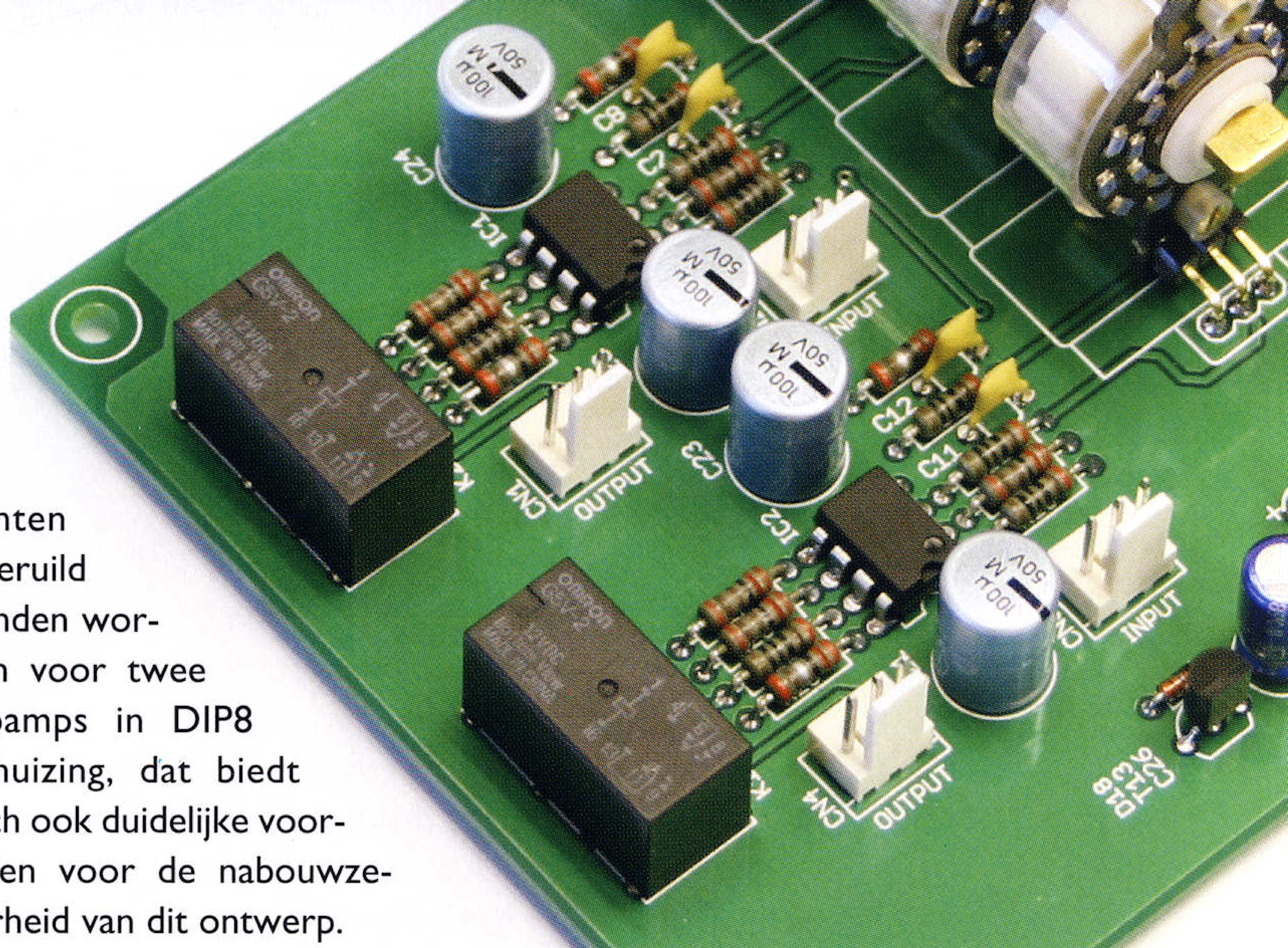


Foto 1.
Een blik op de beide LME49720 opamps gemonteerd op de print.

De National Semiconductor LME49720 Opamp is een Opamp van een nieuwe generatie die prestaties biedt die nauwelijks nog met discrete componenten te evenaren valt. Zo maakt de datasheet melding van vervormingcijfers onder de -120dB (0.00003% typ.) bij een uitsturing van 3 Vrms in een 600 Ω belasting. Cijfers die in de praktijk ook daadwerkelijk gehaald worden. Ook de ruisbijdrage en de CMRR (common mode rejection ratio) en PSRR (power supply rejection ratio) van deze Opamp zijn ronduit uitstekend (beide rond de 120dB).

Figuur 1.
Schema van de voorversterker.

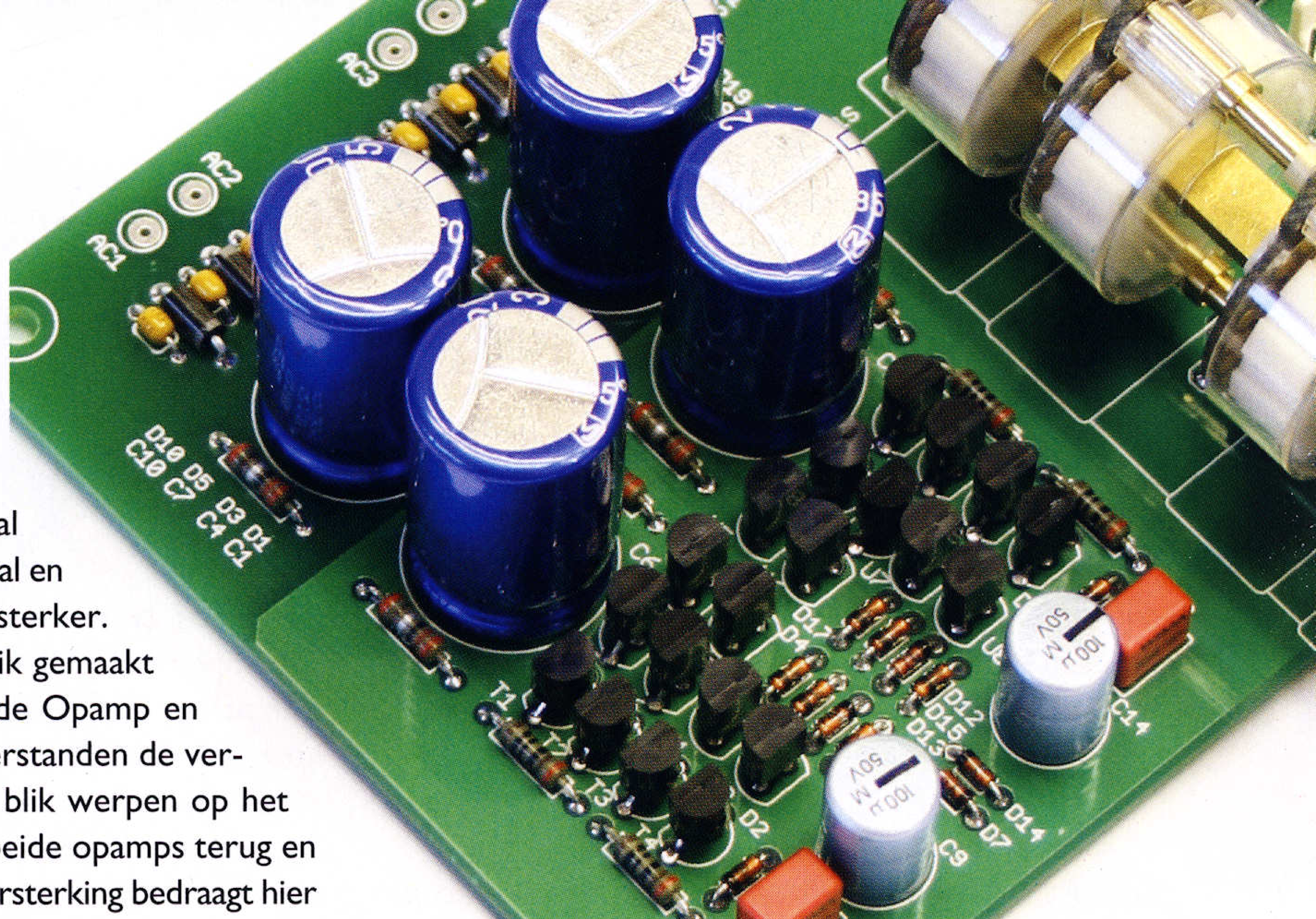


Foto 2.
De volledig discreet opgebouwde voeding van de voorversterker.

Voor dit ontwerp maken we dan ook gebruik van een tweetal LME49720 Opamps, één per kanaal en geschakeld als instrumentatieversterker. Hierdoor wordt optimaal gebruik gemaakt van de uitstekende CMRR van de Opamp en kunnen we met slechts drie weerstanden de versterking vastleggen. Als we een blik werpen op het schema in figuur 1 dan zien we beide opamps terug en de genoemde weerstanden, de versterking bedraagt hier 6dB, oftewel een factor twee. Rondom de Opamps zien we nog een aantal andere onderdelen zoals RC netwerken R3/C2 en R11/C8, deze zorgen voor een afval in 't hoog zodat de Opamps niet onnodig hoogfrequent signalen versterken die buiten de audioband vallen. Aan de uitgang zien we twee weerstanden en twee relaiscontacten, die uiteraard zorgen dat geen nare bijgeluiden te horen zijn tijdens het aan- en/of uitschakelen van de voorversterker. De RC netwerken rechtsonder, 2.2 Ω

Figuur 2.
Schema van de voeding van de voorversterker.

en 100 uF, zorgen voor de ontkoppeling van de voedingsspanning bij de Opamps, de schakeling rondom T13 is de inschakelvertraging die de beide relais aanstuurt.

Voedingsreceptuur

In figuur 2 zien we de volledig discreet opgebouwde voeding. Ondanks de meer dan uitstekende PSRR van de gebruikte LME49720 Opamps is toch gekozen voor een uitgekiende receptuur voor de voeding. We konden uiteraard ook hebben volstaan met twee lineaire regelaars uit de bekende LM78xx/LM79xx familie, maar de insteek bij dit ontwerp was compromisloos, dus dat was geen optie.

De gebruikte topologie voor de voeding is een bekende, ook bij de ExtremA zien we deze terug in de voeding voor de voortrap van de eindversterker. Hier gaan we nog een stap verder door ook de uitgangstransistoren van de voeding nog van een extra cascode te voorzien. Deze extra cascodering verbetert de PSRR nog eens waardoor deze circa 110dB bedraagt over de gehele audio band, da's een waarde die zo'n 40dB (een factor 100) beter is dan de PSRR van de LM78xx/LM79xx familie. Ook de eigen ruisbijdrage van deze discreet opgebouwde voeding is significant beter dan de LM78xx/LM79xx familie, en bedraagt pakweg 15nV/√Hz over de gehele audioband. En uiteraard is niet alleen een hoge PSRR en een lage eigen ruisbijdrage een vereiste bij een goede voeding, ook een lage en constante uitgangsimpedantie is van belang, die bedraagt hier circa 25 mΩ en is constant over het hele audio bereik tot enkele tientallen kHz.

De topologie zelf blinkt uit door eenvoud en is in feite een transconductantieversterker met de nodige cascoderingen. De ontkoppelcondensator aan de uitgang vormt gelijk de compensatie C waardoor de spanningsregelaar onvoorwaardelijk stabiel is vanaf enkele uF aan de uitgang. Hier wordt een 100 uF condensator aan de uitgang gebruikt zodat de onvoorwaardelijke stabiliteit gegarandeerd wordt. Aan de linkerkant van het schema van de voeding zien we een achttal Schottky diodes die zorg dragen voor de gelijkrichting van de twee gescheiden trafowikkelingen. De RC netwerken met 2.2 Ω en 2200 uF zorgen voor een beperking in de laad/ontlaad stromen van de diodes/condensatoren en een reductie in ruis/rimpelspanning door het afschakelen van de gelijkrichtdiodes.

Opbouw

Voor de voorversterker is een dubbelzijdige doorgemetalliseerde print ontworpen (zie Figuur 3, 4 en 5.) die verkrijgbaar is via de auteur, waarop de gehele schakeling, inclusief stappenschakelaar en voeding, past. Alleen de ringkerntransformator die de voorversterker voedt wordt elders gemonteerd, bij voorkeur zo ver mogelijk weg van de print om elektromagnetische strooivelden geen kans te geven brom in de schakeling te introduceren.

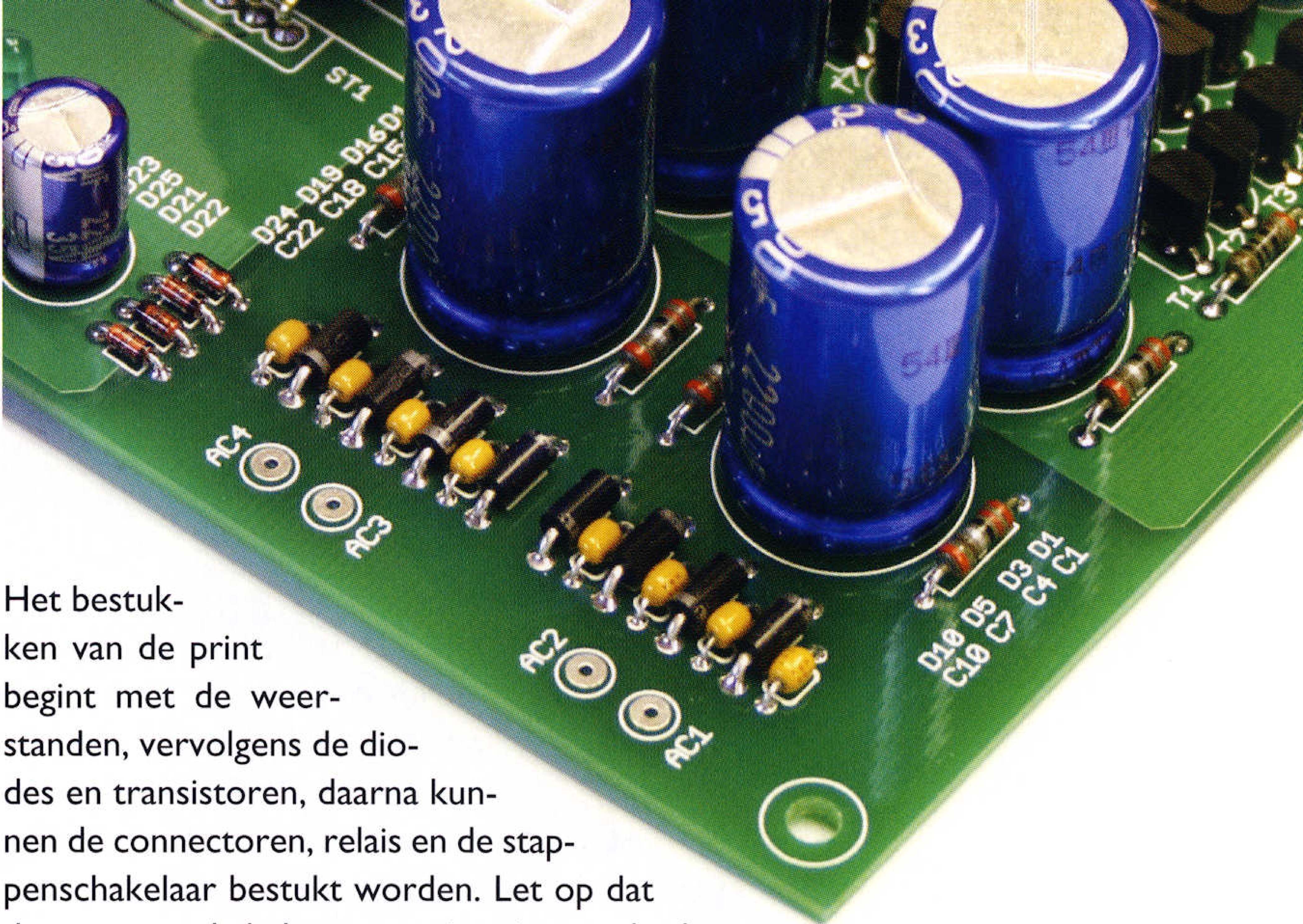
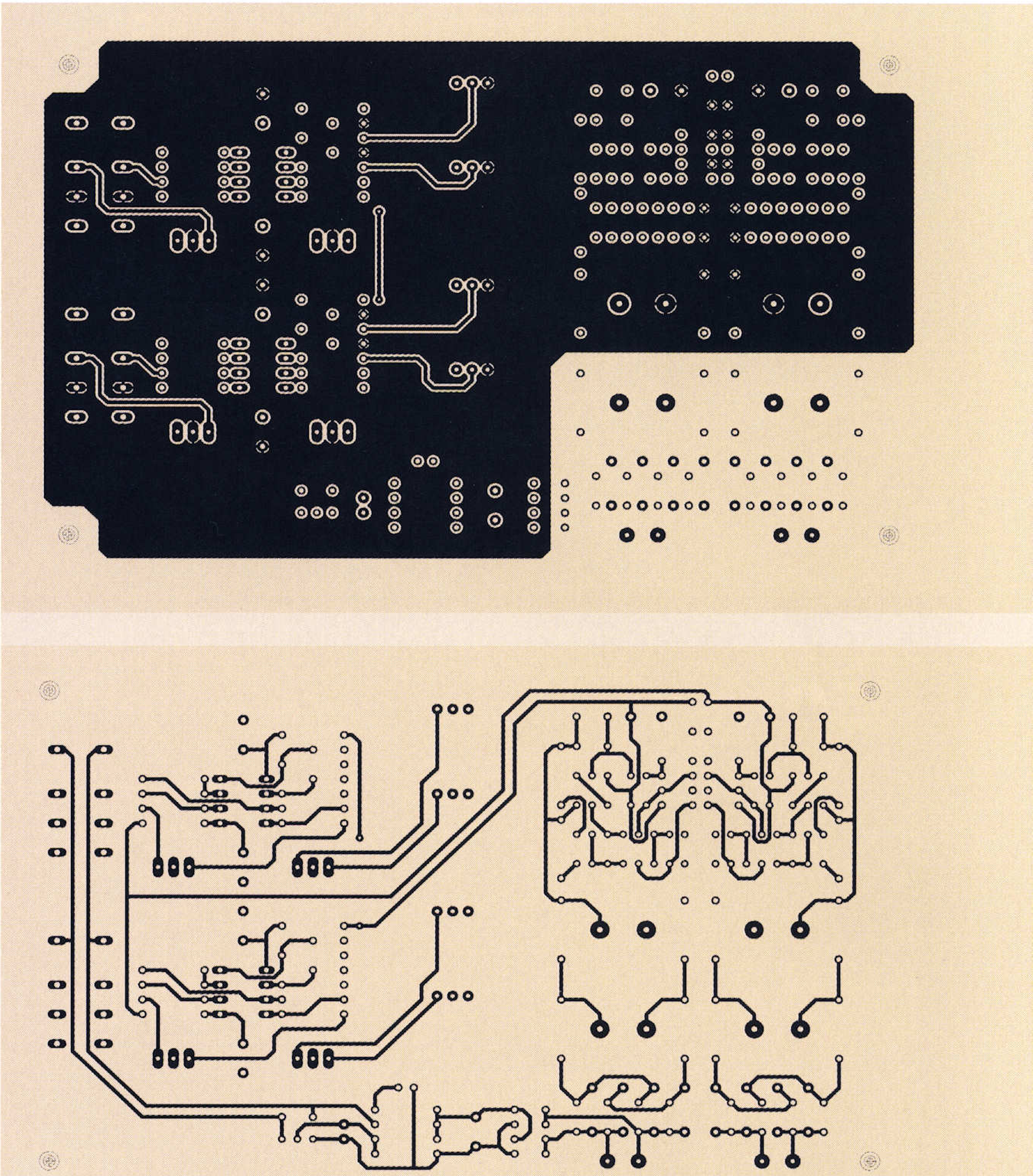


Foto 3.
De gelijkrichters en RC netwerken van de voeding.

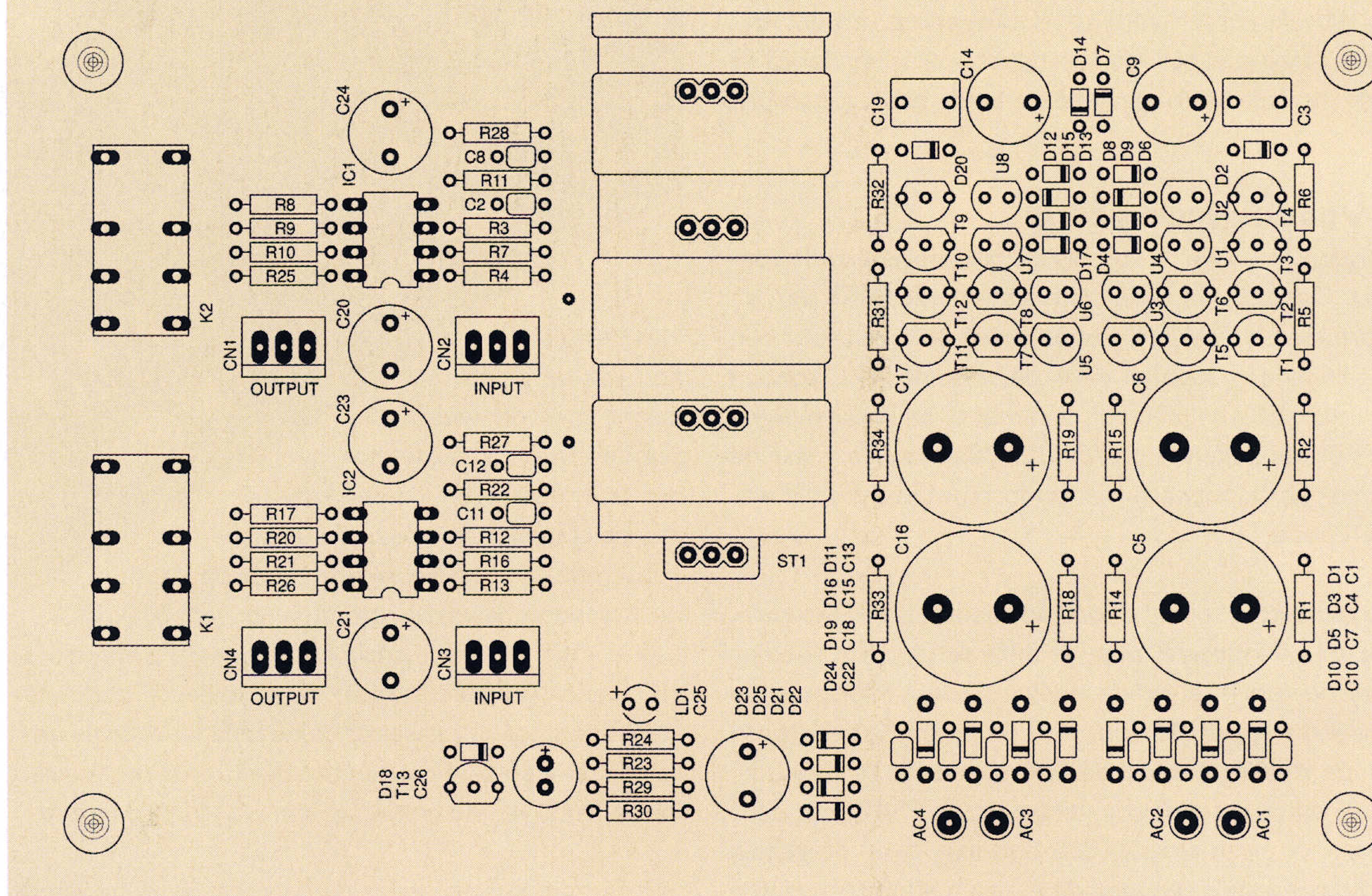
Het bestukken van de print begint met de weerstanden, vervolgens de diodes en transistoren, daarna kunnen de connectoren, relais en de stappenschakelaar bestukt worden. Let op dat de stappenschakelaar voorzien is van haakse headers die de auteur heeft losgesoldeerd, vervolgens 180 graden gedraaid en weer vastgesoldeerd, zodoende steekt de stappenschakelaar voldoende uit over de rand van de print zodat deze met de bijgeleverde moer direct in het front van de behuizing kan worden vastgezet.

Het is raadzaam om eerst de correcte werking van de voeding te verifiëren alvorens de Opamps ingesoldeerd worden. Voor de voorversterker dient een ringkerntrafo met twee gescheiden 15 V wikkelingen gebruikt te worden, dus geen ringkerntrafo met middenaftakking. De eerste wikkeling wordt aangesloten op AC1/AC2 de tweede op AC3/AC4, waarbij gelet wordt op de wikkelrichting. Na het inschakelen van de netspanning dient



Figuur 3.
De bovenzijde van de print met het aardvlak.

Figuur 4.
De onderzijde van de print met de printsporen.



Figuur 5. De plaatsing en nummering van de diverse onderdelen.

de voedingsspanning +/- 14.8 V te bedragen, als dit klopt kunnen de Opamps gemonteerd worden. In plaats van solderen kunnen uiteraard ook IC voetjes ingezet worden voor de Opamps. Deze dienen vanzelfsprekend wel voorzien te zijn van gedraaide hard vergulde contacten, zodat echte audio fetisjisten naar hartenlust kunnen experimenteren met de klankkleur van andere Opamps. De auteur heeft zich er echter van overtuigd, zowel meettechnisch als gehoormatig, dat de LME47920 Opamps op alle fronten onverslaanbaar zijn.

Onderdelenlijst Prelude voorversterker

Weerstanden

R1/R2/R14/R15/R18/R19/R25/R26/R27/R28/R33/R34 (12) = 2.2 Ω
R3/R4/R5/R6/R10/R11/R12/R13/R21/R22/R31/R32 (12) = 100 Ω
R7/R8/R9/R16/R17/R20/R24 (7) = 2.2K Ω
R23 (1) = 220 Ω
R29 (1) = 100 K Ω
R30 (1) = 10K Ω
Alle weerstanden 1/4 W, 1%, metaalfilm

Condensatoren

C1/C4/C7/C10/C13/C15/C18/C22 (8) = 10 nF, keramische multilayer, 5 mm steek
C2/C8/C11/C12 (4) = 100 pF, keramisch, NP0, 5 mm steek
C3/C19 (2) = 1nF, polypropyleen, MKP, 5mm steek
C5/C6/C16/C17 (4) = 2200 uF/35V, elco, 7.5 mm steek
C9/C14/C20/C21/C23/C24/C25 (7) = 100 uF/50V, elco, 5 mm steek
C26 (1) = 220 uF/16V, elco, 2.5 mm steek

Halfgeleiders

D1/D3/D5/D10/D11/D16/D19/D24 (8) = MBR1100, 1A/100V, Schottky
D2/D13 (2) = BZX79C3V3, 3.3 V 500 mW zener diode
D4/D8/D12/D17 (4) = BZX79C7V5, 7.5 V 500 mW zener diode
D6/D7/D14/D16/D18/D21/D22/D23/D24 (9) = 1N4148, 100 mA
D9/D13 (2) = BZX79C4V7, 4.7 V 500 mW zener diode
T1/T2/T3/T4/T7/T8 (6) = BC557C, TO92
T5/T6/T9/T10/T11/T12/T13 (7) = BC547C, TO92
LD1 (1) = LED 3mm, groen
U1/U2/U3/U5/U6/U7 (6) = J505, 1mA CRD, TO92
U4/U6 (2) = J511, 4.7 mA CRD, TO92
IC1/IC2 (2) = LME49720, DIP8

Connectoren

CN1/CN2/CN3/CN4 (4) = 3 polige connector, Molex, 2.54 mm pitch

Diversen

ST1 (1) = DACT CT2-10K-4 24-stappen
K1/K2 (2) = Omron G5V-2 12V relais
TR1 (1) = ringkerntrafo 0-15V, 0-15V, 15VA

Referenties

DACT, stappenschakelaars en volumeregelaars: http://www.dact.com
J505/J511 CRD's: http://www.linearsystems.com

Na controle op de correcte werking van de voeding kunnen de Opamps geplaatst worden en is na het bedraden van de in- en uitgangen en de netspanning de voorversterker klaar voor gebruik. Let bij het bedraden van de in- en uitgangen goed op het vermijden van aardlussen. Als men de voorversterker wil aansluiten op een niet-gebalanceerde bron dan dient de – ingang van ieder kanaal te worden verbonden met GND, de +ingang wordt dan automatisch de niet-gebalanceerde ingang.

Meten

Het gebeurt niet vaak dat een (voor)versterker beter presteert dan de ondergrens van de gebruikte meetappartuur. Toch is dat hier het geval, zowel de harmonische vervorming, alsook de ruisbijdrage zijn dusdanig laag dat deze volledig in de ruisvloer van de meetapparatuur verdwijnt, die in beide gevallen op circa -110dB ligt. Zelfs bij een uitsturing van 10 Vrms in een 600 Ω belasting blijft de vervorming over de hele audio band beneden de -110dB. Kortom, deze voorversterker voldoet meettechnisch gezien aan alle verwachtingen en complimenteert de ExtremA eindversterker volledig. Gehoormatig is dit dan ook net zoals de ExtremA een hele goede benadering van het fictieve stuk draad met versterking, de voorversterker laat niks weg, maar voegt zelf ook niks toe, hij versterkt eenvoudigweg het aangeboden signaal met een factor twee, niets meer en niets minder.

Auteursrecht

Het hier gepresenteerde ontwerp en de deelschakelingen ervan zijn auteursrechtelijk beschermd, inclusief de schema's en de print layouts. Gebruik voor commerciële doeleinden is niet toegestaan zonder uitdrukkelijke schriftelijke toestemming van de auteur. Met vragen hieromtrent of met algemene vragen met betrekking op dit ontwerp zoals de beschikbaarheid van printen en verkrijgbaarheid van onderdelen kunt U de auteur bereiken op ssassen@hardwareanalysis.com.

De goede werking van het hier gepubliceerde ontwerp valt of staat met een correcte opbouw. De auteur kan geen verantwoordelijkheid nemen voor de goede werking ondanks de zorgvuldigheid die is betracht bij het tot stand komen van dit ontwerp en de beschrijving ervan in dit artikel en is derhalve niet aansprakelijk, ook de uitgeverij kan in dit geval niet aansprakelijk gesteld worden.

Naam:	*Prelude*
Principe:	*Gebalanceerde voorversterker*
Ontwerp:	*Sander Sassen*
Email:	*ssassen@hardwareanalysis.com*
Prijs onderdelen:	*Circa € 300,- (alle onderdelen behalve de kast etc.)*

COLOFON

Elektor Audio Special
December 2010

Elektor wil mensen inspireren om zich elektronica eigen te maken door het presenteren van bouwbeschrijvingen en door het signaleren van ontwikkelingen in de elektronica en technische informatica.

Audio Special is een uitgave van Elektor International Media BV
Allee 1, Limbricht
Postbus 11, 6114 ZG Susteren
Tel. +31 (0)46-4389444,
Fax +31 (0)46-4370161

Redactie Elektor Special:
Femke van der Putten,
ir. Menno van der Veen (freelance),
ir. Sander Sassen (freelance)

Productiecoördinatie:
Femke van der Putten

Vormgeving:
Option One, Amsterdam

Uitgever Elektor Special:
Ferdinand te Walvaart

Marketing:
Carlo van Nistelrooy

Directeur:
Paul Snakkers

Bestellingen:
Nicolle v.d. Bosch
(verkoop@elektor.nl)
Tel. 046-4389414

Hoofd advertentieverkoop:
Teun van Hoesel
(advertenties@elektor.nl)
Tel. 046-4389444

Advertentietarieven, nationaal en internationaal, op aanvraag. Alle advertentiecontracten worden afgesloten conform de Regelen voor het Advertentiewezen gedeponeerd bij de rechtbanken in Nederland. Een exemplaar van de Regelen voor het Advertentiewezen is op aanvraag kostenloos verkrijgbaar.

Druk: Senefelder Misset, Doetinchem

Distributie: Betapress, Gilze

Klik aan, klik uit schakelaar

Een netschakelaar met legio toepassingen

DOOR SANDER SASSEN

Veel zelfbouwers staan vaak voor een dilemma; na het opbouwen van een nieuwe versterker of ander audio apparaat moet er ook een netschakelaar in het front komen om het apparaat mee aan en uit te kunnen schakelen. Na alle moeite, tijd en aandacht die besteed is aan de kast, de bedrading en het front is het dan natuurlijk zonde om daar een ordinaire verlichte wipschakelaar voor te gebruiken. De hier gepresenteerde klik aan, klik uit schakelaar biedt een oplossing. Een simpel momentcontact kan gebruikt worden om door middel van een relais de netspanning aan en uit te kunnen schakelen.

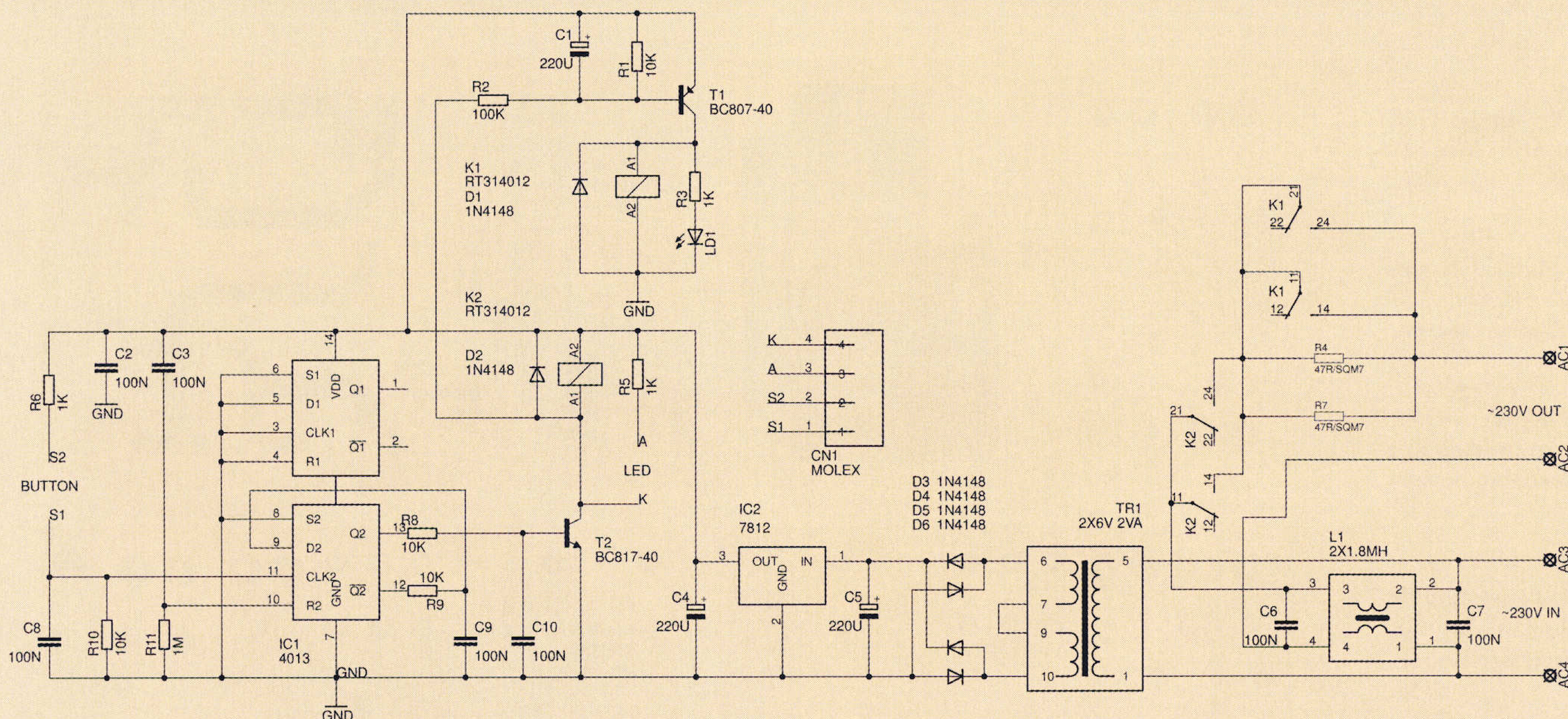
Omdat er in de meeste audio apparatuur behoefte is aan een netfilter en vaak ook nog een softstart worden hieronder twee versies van de klik aan, klik uit schakelaar beschreven die aan al die wensen voldoen. Een eenvoudige versie die door middel van één relais de netspanning aan of uit schakelt, en een luxere versie voorzien van twee relais met softstart functie om de trafo, gelijkrichtbrug(gen) en de bufferelco's in een eindversterker te ontzien.

Concept en ontwerp

Om de schakeling niet nodeloos ingewikkeld te maken kiezen we voor het gebruik van logische poorten in plaats van een microcontroller. Met een eenvoudige flipflop is het natuurlijk een koud kunstje om een uitgang met een druk op de knop elke keer om te schakelen. Echter één ding is hier wel van belang; de uitgang moet wel exact gedefiniëerd zijn bij het inschakelen van de netspanning, zodat we niet puur door willekeur elke keer een ander resultaat krijgen aan de uitgang.

Het schema van de eenvoudige klik aan, klik uit schakeling vinden we terug in Figuur 1. Direct herkenbaar is uiteraard de 4013 dubbele flipflop, waarvan we slechts één flipflop gebruiken. Rechtsonder zien we het netfilter terug in de vorm van L1 en C5/C6. De keuze om een netfilter in de schakeling op te nemen is tweeledig. In de eerste plaats zijn commerciëel verkrijgbare netfilters in de regel voorzien van een 'Y-tap', dit zijn feitelijk twee kleine condensatoren vanaf aarde naar fase en nul van de netspanning. Het grote nadeel hiervan is dat je 'rommel' vanaf het net nu gelijk je aarde in koppelt. Aarde is in de regel de (metalen) behuizing en in de meeste gevallen (zeker bij niet-gebalanceerde apparatuur) ook nog eens een vaste referentie voor het audio signaal. Daarmee is deze Y-tap juist bij audio toe-

Figuur 1. Het schema van de eenvoudige versie van de klik aan, klik uit schakeling.

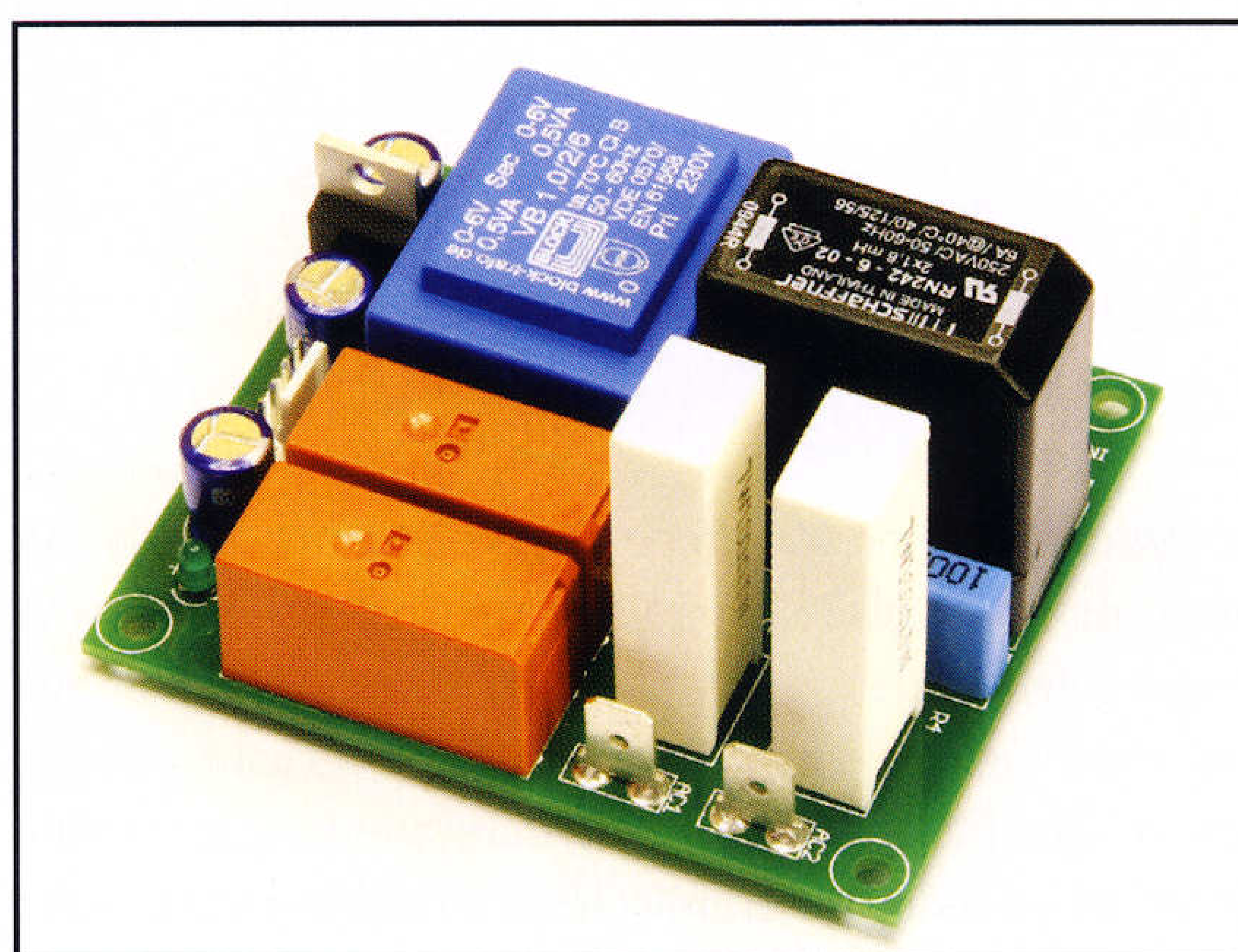


passingen niet wenselijk, vandaar dat we hier dus een netfilter gebruiken zonder Y-tap.
In de tweede plaats is een netfilter altijd aan te raden in een gemiddeld huishouden waar een groeiend aantal elektronische en elektrische apparaten feitelijk dag en nacht aanstaan. Vooral grootverbruikers als (af)wasmachines, koel- en vrieskasten, maar ook de CV ketel of de computer zorgen voor nogal wat 'rommel' op de netspanning. Door toepassing van een netfilter ben je het gros van deze rommel kwijt nog voordat deze in de trafo die de audio schakeling voedt belandt, zoals de Engelsen zeggen: good riddance.

De rest van de klik aan, klik uit schakeling is recht toe – recht aan met een kleine 1 VA nettrafo, een gestabiliseerde voeding op basis van een 7812 en een 12 V relais met twee parallel geschakelde 16 A/250V~ contacten. De contacten met het label S1, S2 is waar de moment contact schakelaar op wordt aangesloten. Dit kan een eenvoudige druktoets zijn, maar ook een luxe roestvrij stalen vandaal bestendige drukschakelaar met ingebouwde ringverlichting zoals vaak gebruikt wordt bij high-end audio. Uiteraard kan ook de voor de ringverlichting gebruikte LED in dat geval door de klik aan, klik uit schakelaar gevoed worden, hiervoor worden de contacten op de connector gelabelled met A (anode) en K (kathode) gebruikt, aangegeven met 'LED' in het schema.

Softstart

Een softstart is een nuttige aanvulling voor eindversterkers met een flinke (ringkern)trafo en bufferelco's. Zonder een softstart zijn de piekstromen bij het inschakelen van bijvoorbeeld een 500 VA ringkerntrafo met daarachter 40.000 uF aan bufferelco's erg fors. Deze piekstromen plegen nogal een aanslag op de netzekering van het apparaat en beïnvloedt de levensduur van de gelijkrichter(s) en de bufferelco's aanzienlijk. Daarom is het bij eindversterker nuttig om een aantal vermogensweerstanden voor te schakelen gedurende een paar seconden en deze daarna te overbruggen, zodat de piekstromen niet té hoog kunnen oplopen.



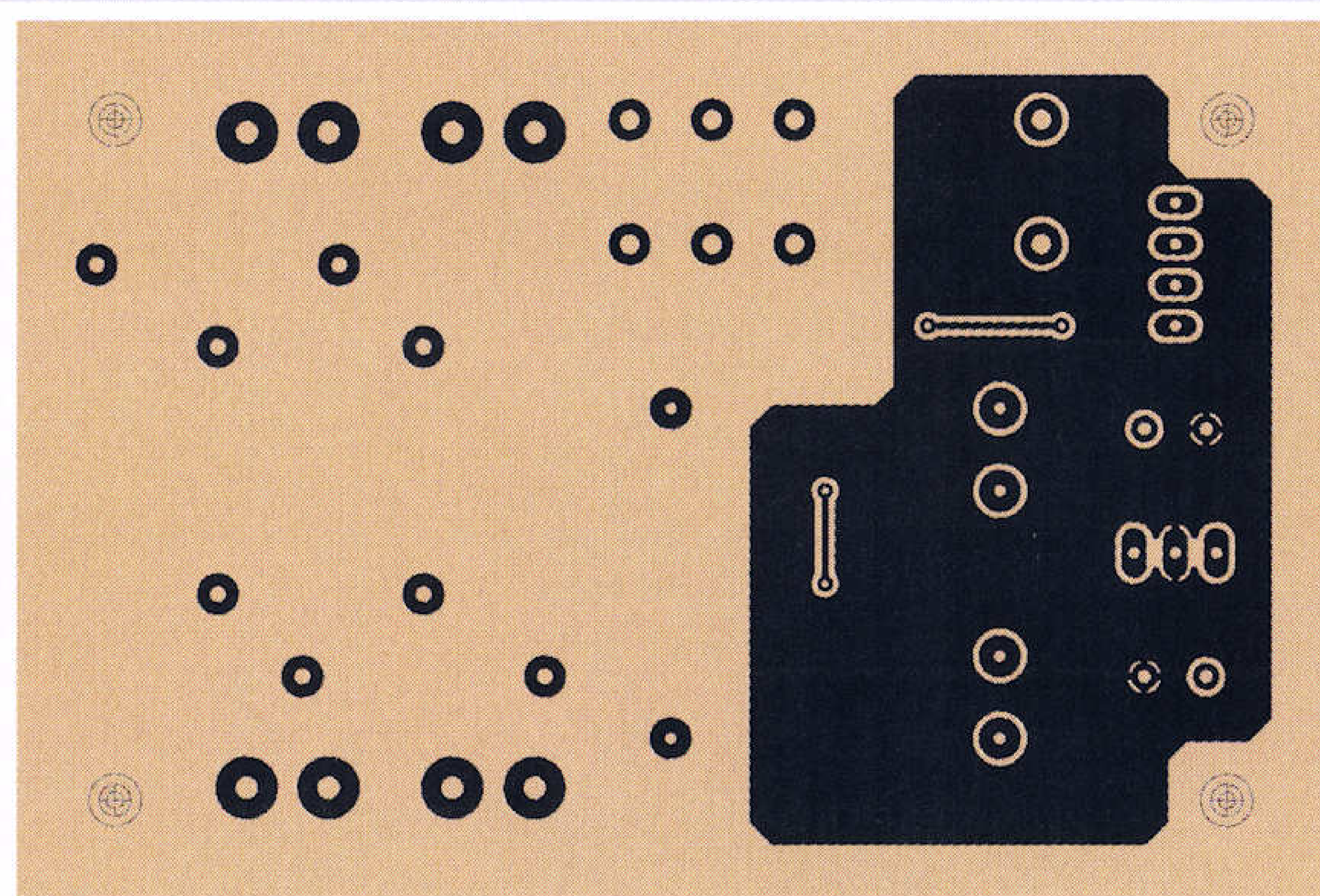
Figuur 2.
Het schema van de softstart versie van de klik aan, klik uit schakeling.

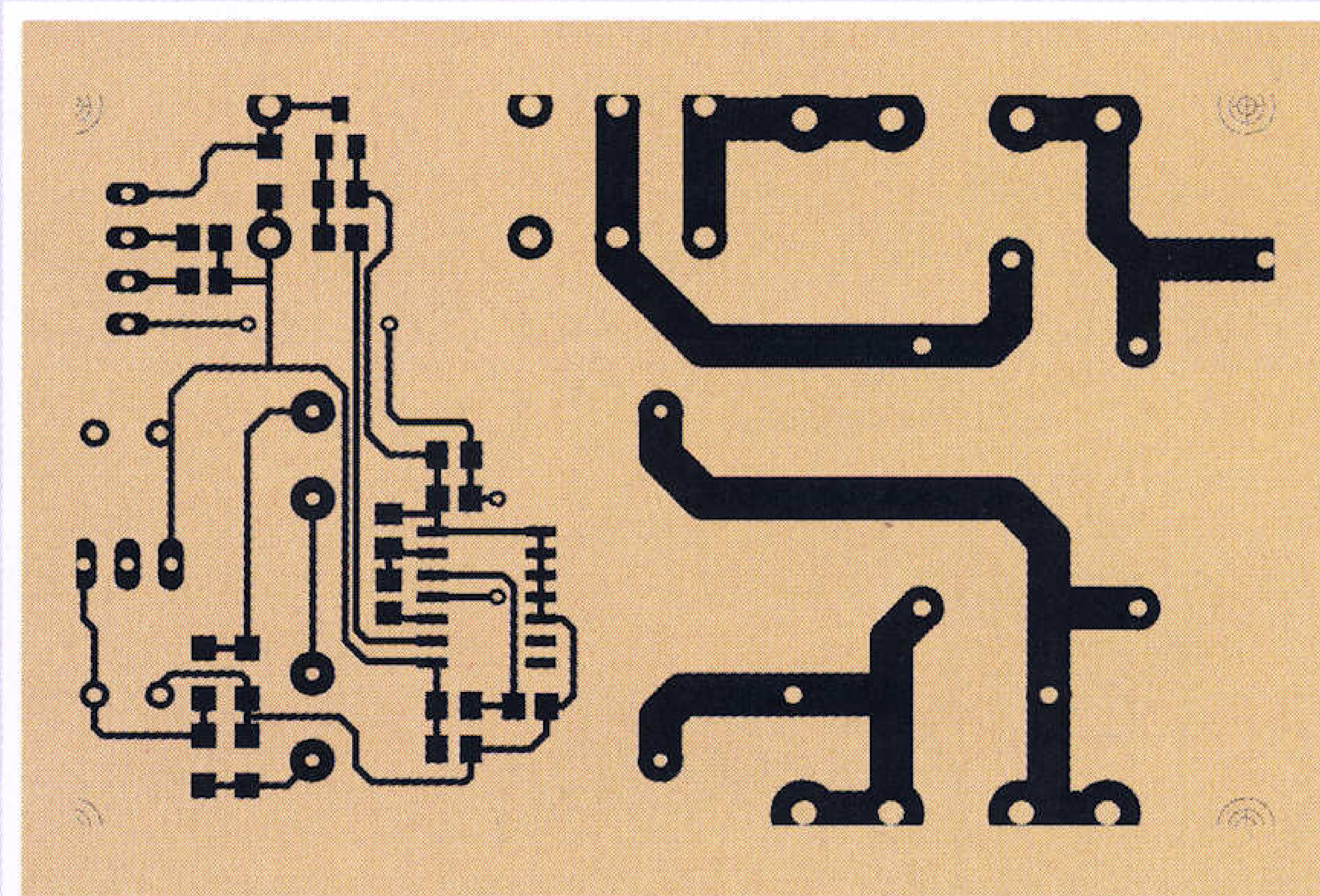
Foto 1.
De klik aan, klik uit schakelaar met netfilter en softstart.

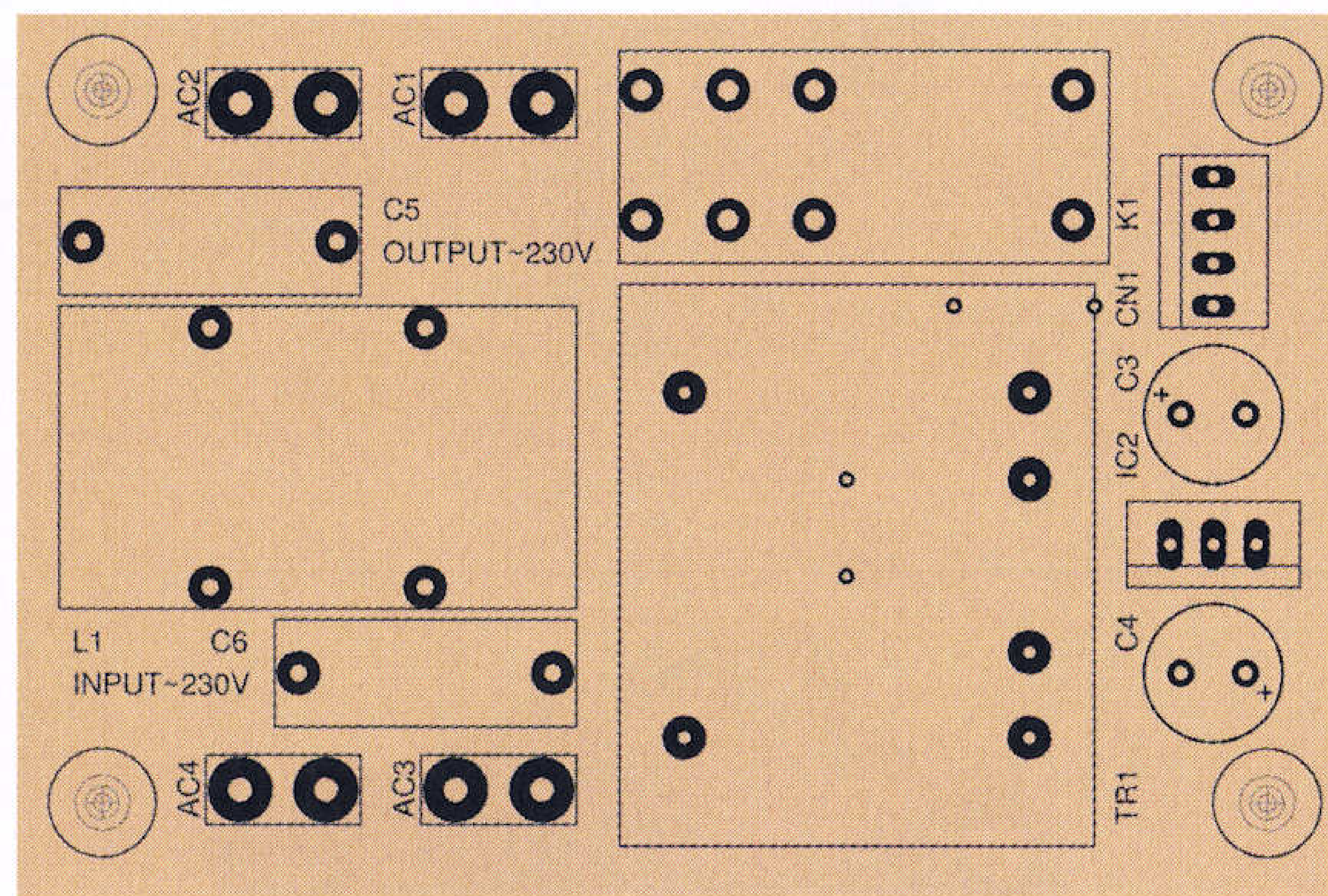
Het toevoegen van softstart functionaliteit aan de klik aan, klik uit schakelaar is eenvoudig. Slechts een handvol extra onderdelen zijn nodig om dit door middel van twee forse vermogensweerstanden en een extra relais aan de schakeling toe te voegen. Het schema in Figuur 2 laat ziet dat een extra transistor is gebruikt die het softstart relais aanstuurt. De tijdsvertraging van pakweg twee seconden wordt gerealiseerd met een RC netwerk bestaande uit R2 en C1. Rechtsonder in het schema zien we het netfilter weer terug met erboven het softstart relais en twee vermogensweerstanden.

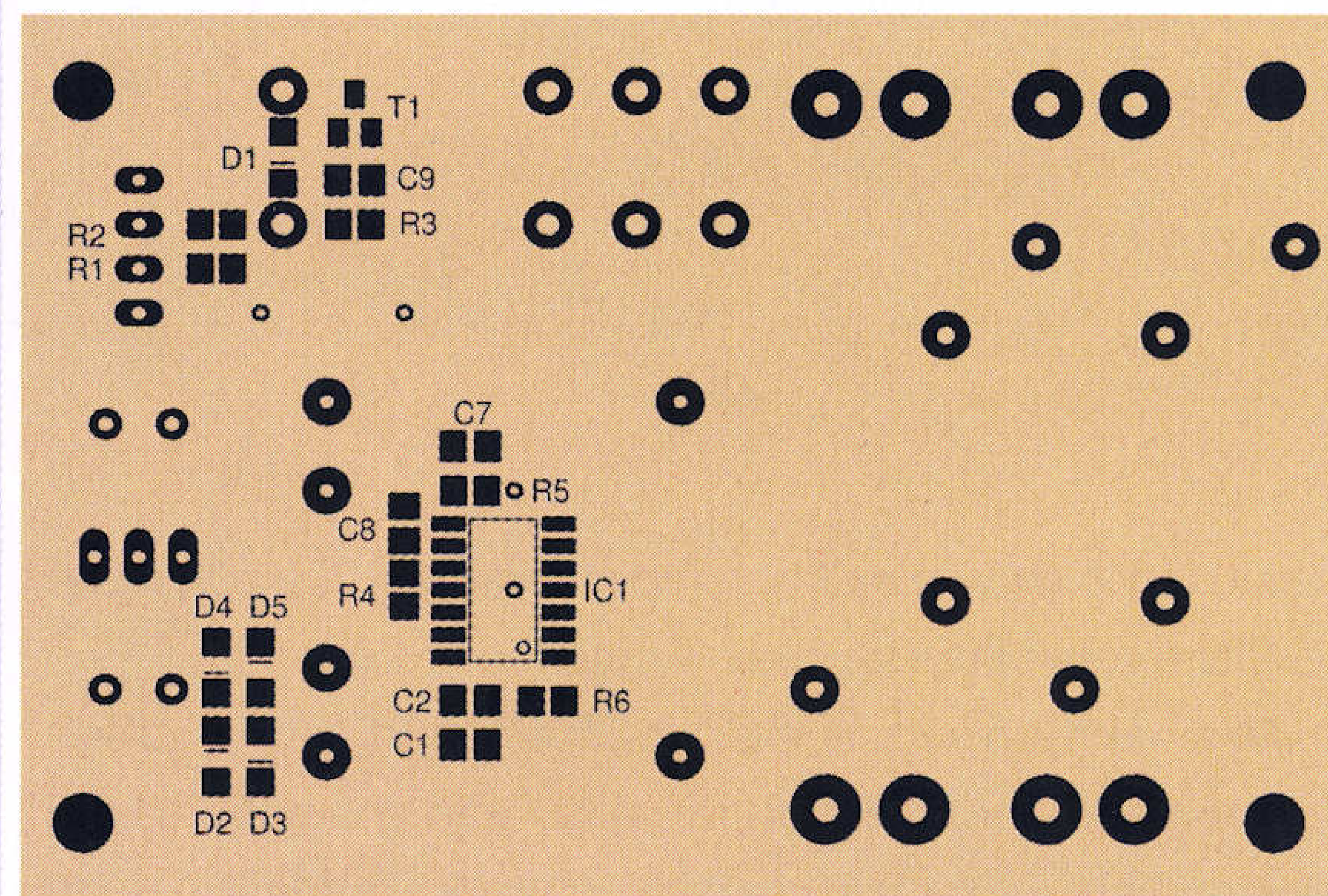
Printen en opbouw

Voor de twee versies van de klik aan, klik uit schakelaar zijn twee dubbelzijdig doorgemetalliseerde printen ontworpen die verkrijgbaar zijn via de auteur, waarop de gehele schakeling, inclusief netfilter en vermogensweerstanden, past. In Figuur 3, 4, 5 en 6 zijn de bovenzijde, onderzijde van de print en de plaatsing en nummering van de diverse onderdelen te zien van de eenvoudige versie. Om aan de veiligheidseisen tegemoet te komen zijn alle spanningsvoerende delen aan de onderkant van de print gemonteerd en dus normaliter (na montage) niet bereikbaar. Voor de klik aan, klik uit schakelaar heeft de auteur gebruik gemaakt van SMD onderdelen om de print compact te houden zodat deze gemakkelijk (achteraf) in een nieuw of bestaand apparaat kan worden ingebouwd.









Figuur 3. De bovenzijde van de print met het aardvlak.

Figuur 4. De onderzijde van de print met de printsporen.

Figuur 5. De plaatsing en nummering van onderdelen bovenzijde.

Figuur 6. De plaatsing en nummering van onderdelen onderzijde.

In Figuur 7, 8, 9 en 10 zijn de bovenzijde, onderzijde van de print en de plaatsing en nummering van de diverse onderdelen te zien van de softstart versie. Ook hier zijn alle spanningsvoerende delen aan de onderkant gemonteerd. De beide vermogensweerstanden zijn radiale types en volledig in keramisch materiaal gegoten zodat ook hier geen spanningsvoerende delen aangeraakt kunnen worden.

Het bestukken van de printen begint met de SMD onderdelen zoals de weerstanden, en condensatoren, Vervolgens kunnen de diodes, transistoren en het IC bestukt worden, daarna de andere onderdelen zoals de connectoren, relais, etc. Het is raadzaam om de trafo nog niet te monteren en eerst de correcte werking van de schakeling te verifieren met een externe voeding van pakweg 15 V, deze sluiten we aan vóór de 7812 regelaar. Na controle op de correcte werking van de schakeling kan de trafo geplaatst worden. Na het (correct!) bedraden van de netspanning is de klik aan, klik uit schakelaar klaar voor gebruik. Let bij het bedraden van de netspanning op de veiligheidseisen en zorg voor minimaal 6 mm kruipruimte tussen spanningsvoerende delen en de kast, de print wordt bij voorkeur met plastic afstandbussen van minimaal 6 mm hoog in de kast gemonteerd. Gebruik bij voorkeur geïsoleerde Faston krimpconnectoren zodat er geen spanningsvoerende delen bloot komen te liggen.

Voor de softstart versie is het zaak om de vermogensweerstanden te dimensioneren naar de belasting. Voor eindversterkers met een ringkerntrafo tot pakweg 300 VA kan met twee 100 Ω weerstanden worden volstaan, bij 500 VA en meer is 47 Ω aan te raden. Zorg er bij de montage van de klik aan, klik uit print voor dat de weerstanden hun warmte goed kwijt kunnen. Bij beide

Onderdelenlijst eenvoudige klik aan, klik uit schakelaar

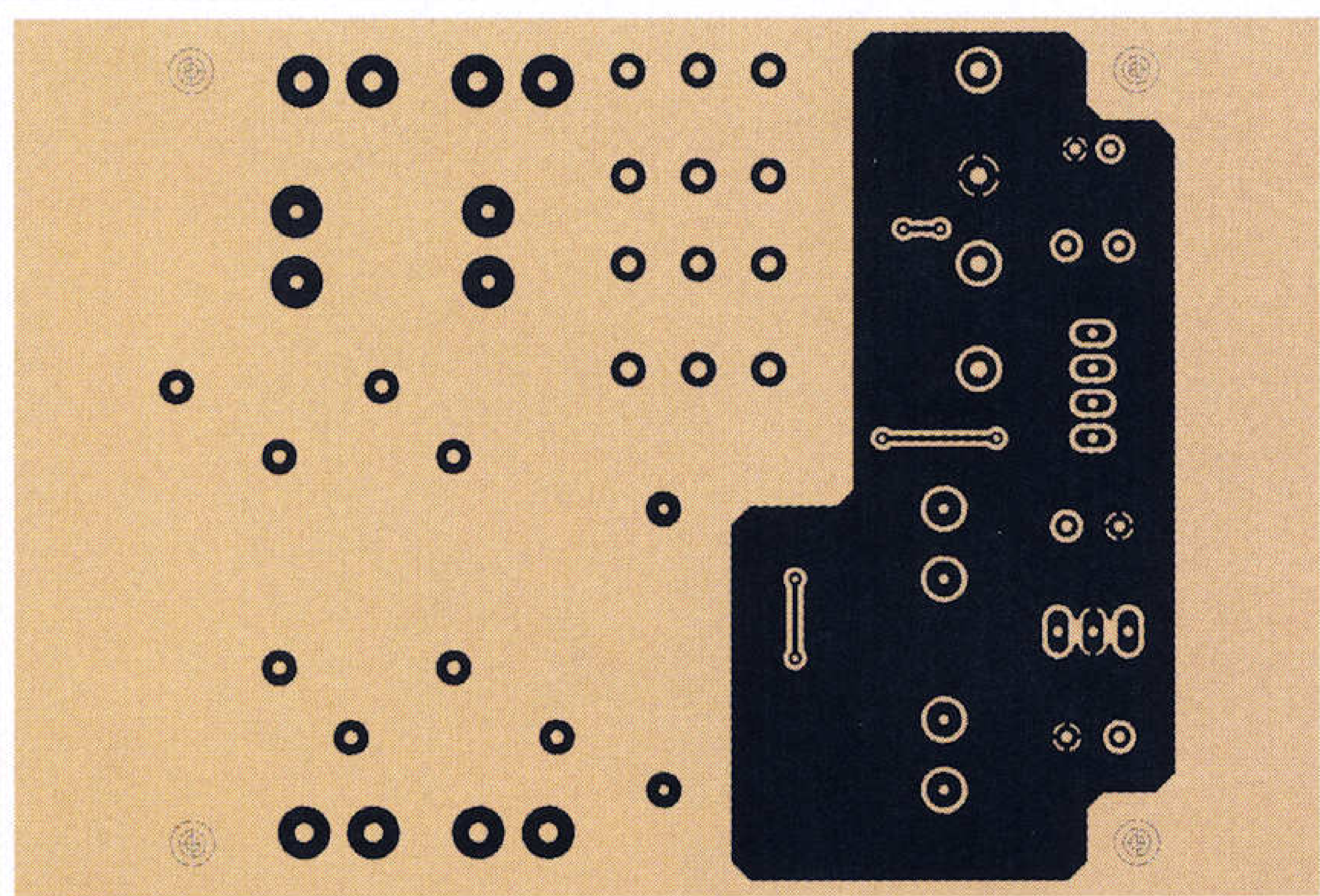
Weerstanden
R1/R2 (2) = 1 KΩ
R3/R4/R5 (3) = 10 KΩ
R6 (1) = 1 MΩ
Alle weerstanden 1/10W, SMD 0805, 5%

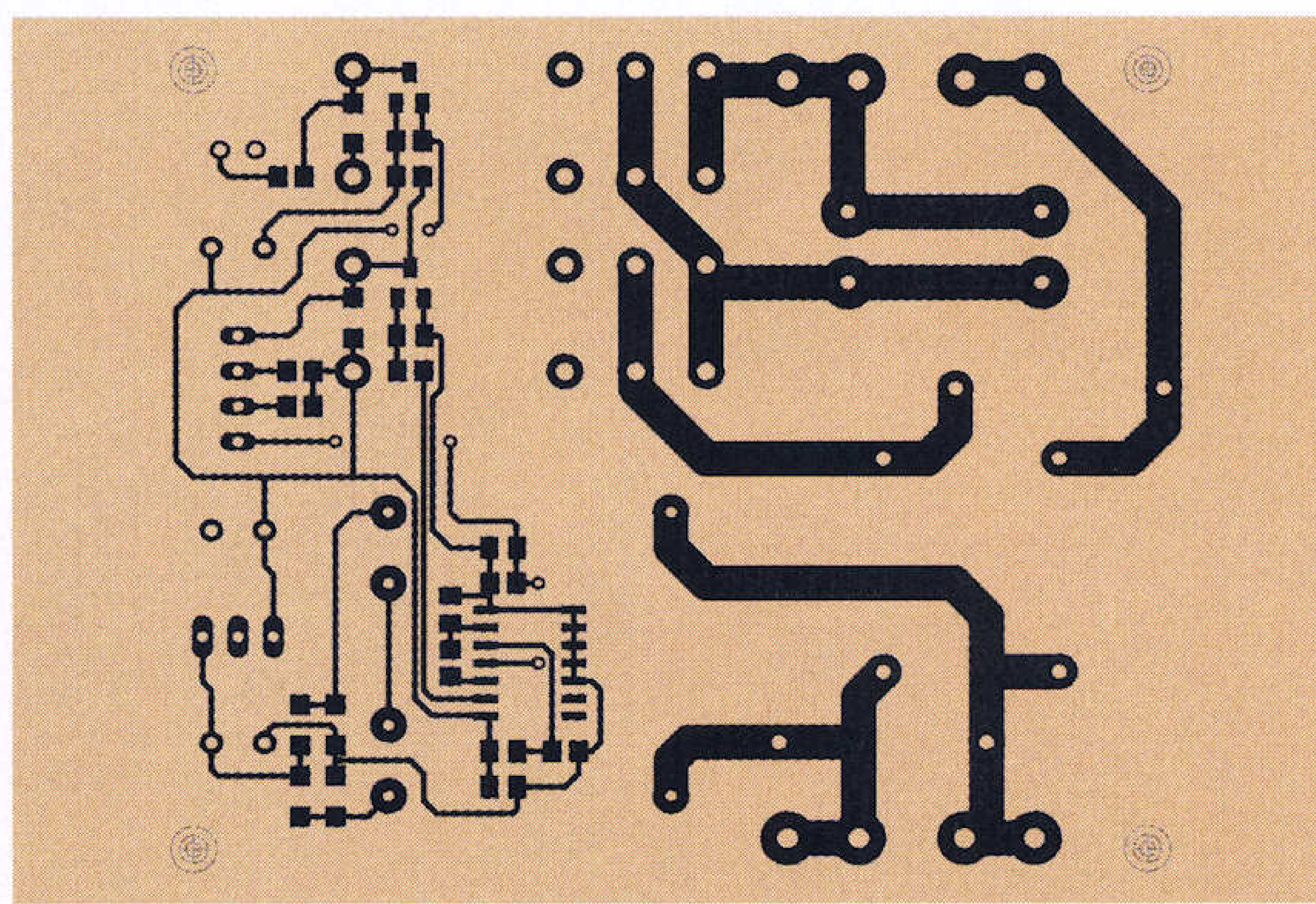
Condensatoren
C1/C2/C7/C8/C9 (5) = 100 nF, keramische multilayer, SMD 0805
C3/C4 (2) = 220 uF/35V, elco, 5 mm steek
C5/C6 (2) = 100 nF, polypropyleen, MKP, 275V~ X2 klasse, 15 mm steek

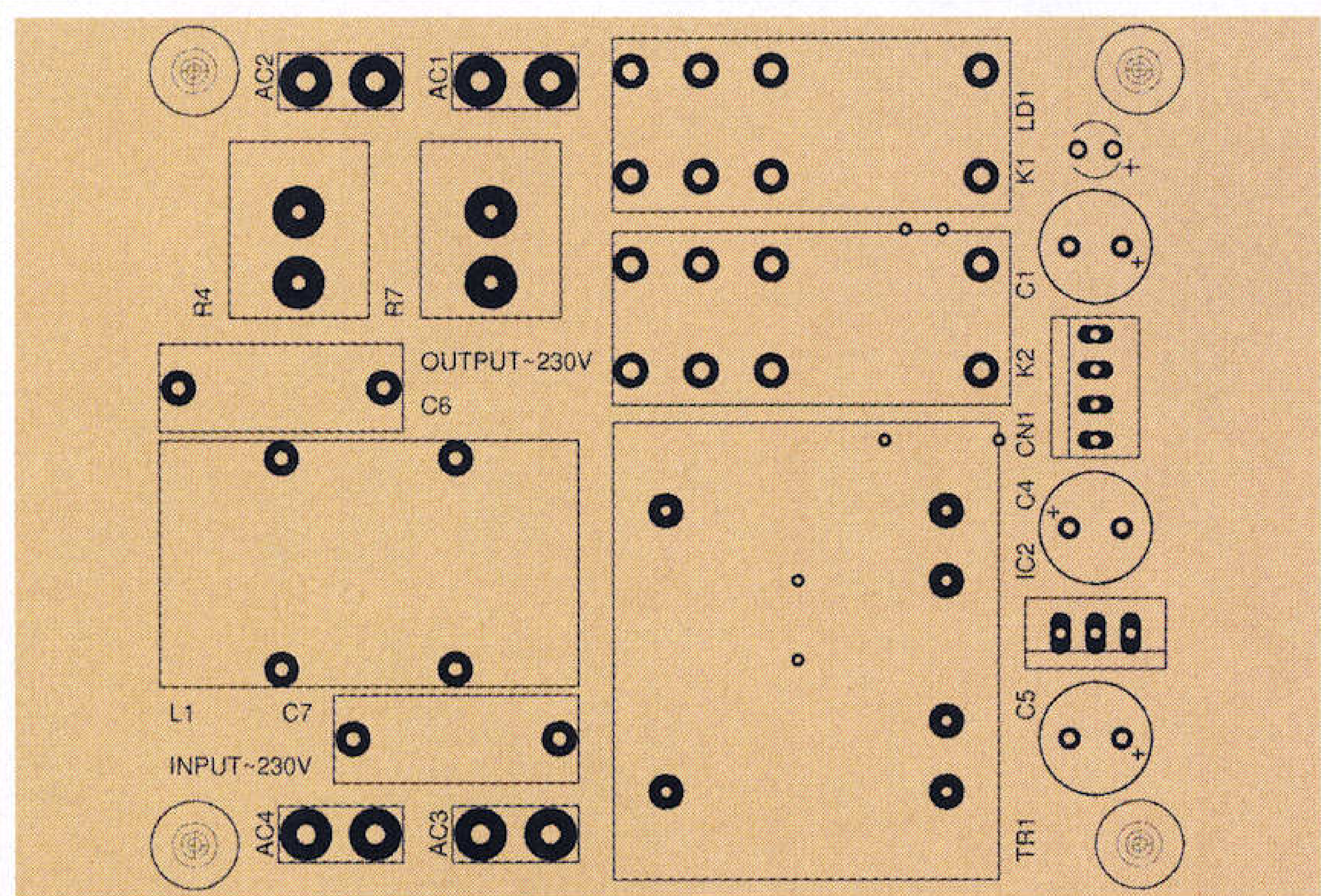
Halfgeleiders
D1/D2/D3/D4/D5 (5) = 1N4148, 100 mA, SMD minimelf 0805
T1 (1) = BC817-40, SMD SOT23
IC1 (1) = CD4013, SMD SO14
IC2 (1) = 7812, TO220

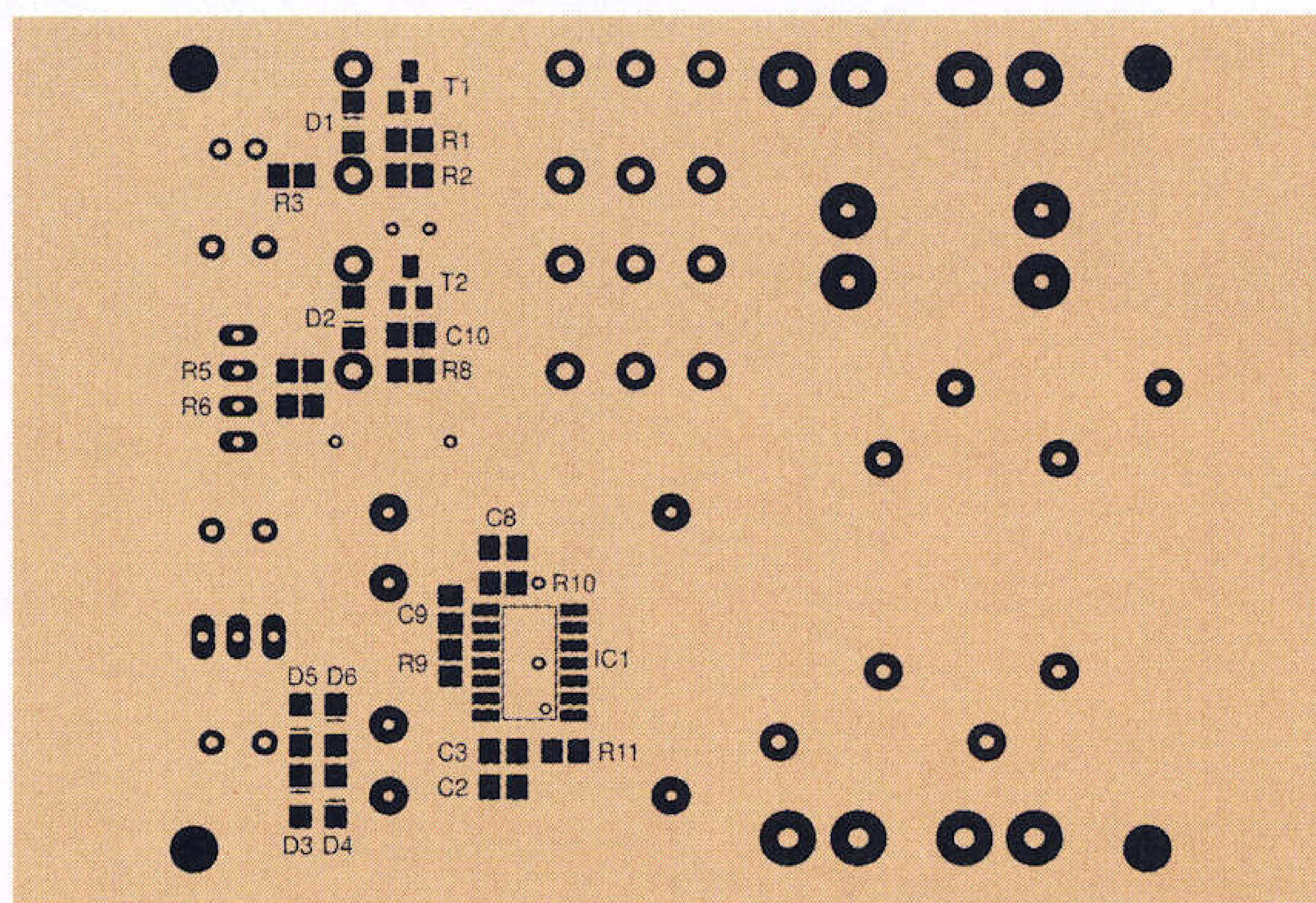
Connectoren
CN1 (1) = 4 polige connector, Molex, 2.54 mm pitch
AC1/AC2/AC3/AC4 (4) = Faston printstekker 6.3 mm

Diversen
TR1 (1) = Printtrafo, 1VA, 2x6V, BLOCK VB1,0/2/6
K1 (1) = RT314012, 12V relais
L1 (1) = Smoorspoel, common mode, Schaffner RN242-6-02









Figuur 7.
De bovenzijde van de print met het aardvlak.

Figuur 8.
De onderzijde van de print met de printsporen.

Figuur 9.
De plaatsing en nummering van onderdelen bovenzijde.

Figuur 10.
De plaatsing en nummering van onderdelen onderzijde.

versies is het oplichten van de LED op de print (of de LED aangesloten via de connector) een indicatie dat het uitgangsrelais is bekrachtigd. Het verdient aanbeveling het apparaat waar de klik aan, klik uit schakelaar in gebruikt wordt te voorzien van een netentree met schakelaar en zekering, zo kan het betreffende apparaat volledig worden uitgeschakeld als dat nodig is. Ondanks het gebruik van een miniatuur printtrafo is het verbruik van deze klik aan, klik uit schakelaar met onbekrachtigd relais namelijk ongeveer 0.2 W, dat is niet veel, maar als een apparaat lange tijd niet gebruikt wordt verdient het de aanbeveling deze volledig uit te schakelen.

Onderdelenlijst softstart klik aan, klik uit schakelaar

Weerstanden

R1/R8/R9/R10 (4) = 10KΩ
R2 (1) = 100KΩ
R3/R5/R6 (3) = 1KΩ
R4/R7 (2) = 47 of 100Ω, 7W, SQM7
Alle weerstanden behalve R4/R7 1/10W, SMD 0805, 5%

Condensatoren

C1/C4/C5 (3) = 220 uF/35V, elco, 5 mm steek
C2/C3/C8/C9/C10 (5) = 100 nF, keramische multilayer, SMD 0805
C6/C7 (2) = 100 nF, polypropyleen, MKP, 275 V~ X2 klasse, 15 mm steek

Halfgeleiders

D1/D2/D3/D4/D5/D6 (6) = 1N4148, 100 mA, SMD minimelf 0805
T1 (1) = BC807-40, SMD SOT23
T2 (1) = BC817-40, SMD SOT23
IC1 (1) = CD4013, SMD SO14
IC2 (1) = 7812, TO220

Connectoren

CN1 (1) = 4 polige connector, Molex, 2.54 mm pitch
AC1/AC2/AC3/AC4 (4) = Faston printstekker 6.3 mm

Diversen

TR1 (1) = Printtrafo, 1 VA, 2x6V, BLOCK VB1,0/2/6
K1/K2 (2) = RT314012, 12V relais
L1 (1) = Smoorspoel, common mode, Schaffner RN242-6-02

Auteursrecht

Naam: Klik aan, klik uit schakelaar
Principe: Netschakelaar met momentcontact, netfilter en softstart
Ontwerp: Sander Sassen
Email: ssassen@hardwareanalysis.com
Prijs onderdelen: Circa € 25,- eenvoudige versie
Circa € 35,- softstart versie



Scheidingsfilters voor luidsprekerboxen

meer valkuilen dan je lief is

DOOR DR. HANS R.E. VAN MAANEN

Scheidingsfilters van luidsprekers splitsen het frequentiegebied op in delen die de luidsprekers aan kunnen. Ze tasten echter ook het tijdgedrag van het audiosignaal aan, en dat heeft desastreuze gevolgen. Hans van Maanen behandelt de valkuilen waar je in terecht komt als je een scheidingsfilter wilt ontwerpen. Vergeet niet om de stoelriem vast te maken!

Inleiding

Om geluid weer te geven gebruiken we gewoonlijk een luidspreker of een combinatie van luidsprekers. De reden is dat geluid elektronisch wordt verwerkt, maar onze oren (nog) mechanische trillingen van de lucht vereisen om dit waar te nemen. Luidsprekers zijn dus elektro-mechanische omvormers die tot taak hebben de wisselstroom in een corresponderend wisselende luchtdruk om te vormen. Beleefd uitgedrukt slagen ze hier maar matig in. Daarom zijn luidsprekers nog steeds de zwakste schakel in de keten van de geluidsweergave en wordt er veel werk gestoken in het verder verbeteren ervan. Een veelal onmisbaar onderdeel is het zogenaamde scheidingsfilter. In dit artikel zal de noodzaak hiervan worden toegelicht en zullen een aantal valkuilen, misvattingen en problemen besproken worden. Ik besef terdege dat dit artikel niet het laatste zal zijn over dit onderwerp. Het is geen probleem om er een heel boek over vol te schrijven. In dit artikel zullen we ons vooral richten op de problemen waar je bij het ontwerpen tegenaan loopt en minder op de praktische kanten van de zaak.

Voor de eenvoud zal ik onderscheid maken tussen de luidspreker-eenheid en de luidspreker-box. Een luidsprekerbox bestaat uit één of andere behuizing waarin één of meerdere luidsprekers zijn gemonteerd met vrijwel altijd een scheidingsfilter erbij ingebouwd. Een luidspreker, ontworpen voor de lage tonen noemen we een woofer, voor de middentonen een squawker en voor de hoge tonen een tweeter.

Het weergeven van geluid vergt een frequentiebereik van tenminste 20 Hz - 20 kHz en met de huidige stand van de techniek is er geen luidspreker die dit in z'n eentje kan. Daarom wordt in vrijwel alle HiFi boxen een combinatie van meerdere luidsprekers toegepast zodat de taken verdeeld kunnen worden (ref. 1). Als de luidsprekers alleen het gebied zouden weergeven waartoe zij in staat zijn èn deze gebieden goed op elkaar zouden aansluiten dan zou er verder geen probleem zijn, maar helaas is de praktijk weerbarstiger. Hoge frequenties toegevoerd aan een woofer veroorzaken resonanties in de conus die het geluid zeer onaangenaam kunnen

maken, tweeters kunnen gewoonlijk de grote hoeveelheid energie van de lage tonen niet aan, je blaast ze domweg op. Kortom, er moet iets gebeuren dat er voor zorgt dat iedere luidspreker alleen datgene krijgt waar 'ie mee om kan gaan en dat "iets" is het scheidingsfilter. Maar daarmee halen we wel een aantal andere problemen in huis..... Daarom gaan we eerst een paar wijdverbreide misverstanden bespreken om dan naar de voor en nadelen van filters te kijken.

Misverstanden

Veel mensen denken dat het genoeg is als een luidsprekerbox alle frequenties tussen 20 Hz en 20 kHz op dezelfde sterkte weergeeft. Dit idee is gebaseerd op de Fourier analyse, waar we in dit bestek helaas niet op in kunnen gaan, maar die ik in een eerder artikel heb beschreven voor audio-toepassingen (ref. 2). Daarnaast zijn er vele boeken over geschreven (bijv. ref. 3 of collegedictaten van de Technische Universiteiten) voor hen die er dieper in willen duiken. Deze wiskunde leert ons onder andere dat ieder signaal kan worden ontleed in zijn samenstellende frequenties (tonen). Het lijkt dan ook logisch om te veronderstellen dat als deze frequenties goed worden weergegeven we ook een goed geluid hebben. Maar dit is maar een deel van het verhaal. Want we kunnen met een identieke combinatie van tonen toch verschillende golfvormen opwekken (ref. 4). En omdat we ook de karakteristieke golfvormen van instrumenten herkennen betekent aantasting van de golfvorm (in de tijd) dat de gehoormatige kwaliteit van het geluid er onder te lijden heeft.

Veel mensen denken dat filters alleen maar bepaalde frequenties doorlaten of onderdrukken. Maar dat is –op basis van dezelfde Fourier analyse- jammer genoeg onmogelijk. Zodra je iets in het "frequentie"-domein verandert, verandert er ook iets in het "tijd"-domein, want die zijn onlosmakelijk gekoppeld. Sterker nog: wiskundig gesproken zijn de functies in het frequentie- en het tijddomein zelfs identiek, ze worden alleen uitgedrukt in de inverse van de onafhankelijk variabelen tijd en frequentie. Wil je dus de oorspronkelijke golfvorm intact houden moet je erg uitkijken met wat je filters doen. Voor je het weet heb je een andere golfvorm aan de uitgang dan je aan de ingang aanbiedt. En dat is voor de natuurgetrouwheid van het geluid ongewenst.

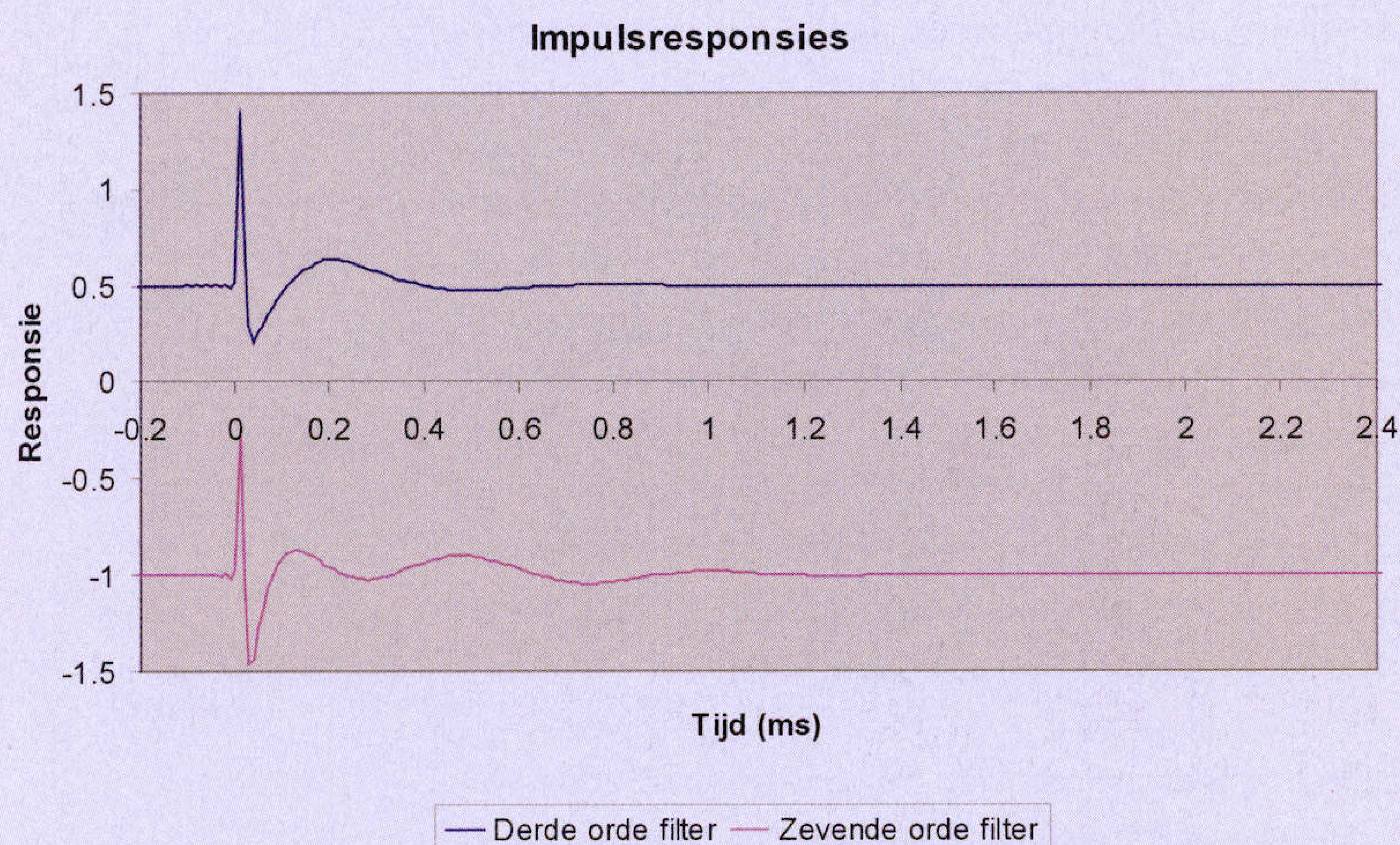
"Steile filters zijn het beste". Nou, daar valt wel wat op af te dingen. Eén van mijn lijfspreuken is "Filteren is een keuze uit verschillende soorten ellende". Zoals we later zullen zien hebben steile filters een beroerd gedrag in het tijd-domein en dit is niet meer te corrigeren. Vanuit die optiek zijn steile filters ronduit ongewenst. Dit zullen we nu onder de loep nemen.

Tijdgedrag van filters

Voordat we verder gaan moet ik eerst het begrip "causaliteit" introduceren. Ik onderscheid bij filters "absoluut-causale", "quasi-causale" en "niet-causale" filters. "Absoluut-causaal" wil zeggen dat noch de individuele filters noch het gesommeerde signaal van de filters eerder geluid produceren dan dat het eigenlijke uitgangssignaal begint. Bij "quasi-causale" filters beginnen de individuele filters al eerder signaal te geven dan het eigenlijke uitgangssignaal begint. Het somsignaal van de filters samen geeft wel een nul-signaal omdat de uitgangssignalen van de individuele filters in tegenfase zijn. "Niet-causale" filters produceren al uitgangssignaal voordat het ingangssignaal aangekomen is. Dat lijkt onmogelijk, maar digitale versies van niet-causale filters kunnen worden gerealiseerd en zijn in sommige CD-spelers te vinden.

Als filters alleen dat zouden doen wat we zouden willen, namelijk het specifiek doorgeven en/of onderdrukken van bepaalde frequentiegebieden, dan was er eigenlijk geen probleem. Filters doen echter meer, zij veranderen ook het tijdgedrag zodat de golfvorm van het geluid uit de luidspekerbox gaat afwijken. Met andere woorden: de golfvorm van het ingaande (elektrische) signaal is anders dan de golfvorm van het uitgaande geluid. Omdat wij geluiden mede herkennen door hun specifieke golfvorm kan dit aanleiding geven tot hoorbare afwijkingen. Als we uitgaan van absoluut causale filters kun je aantonen dat 2e orde filters, gecombineerd met een soort 1e orde + compensatieschakeling de, praktisch gesproken, steilste filtercombinatie is die een correct tijdgedrag mogelijk maakt (ref. 5 en 6). Als we niet-causale (inclusief de quasi-causale) filters meenemen kan –in principe- iedere gewenste steilheid worden bereikt. Maar de prijs die daarvoor betaald moet worden is (te) hoog. De individuele luidsprekers gaan dan al geluid produceren voordat er geluid uit de luid-

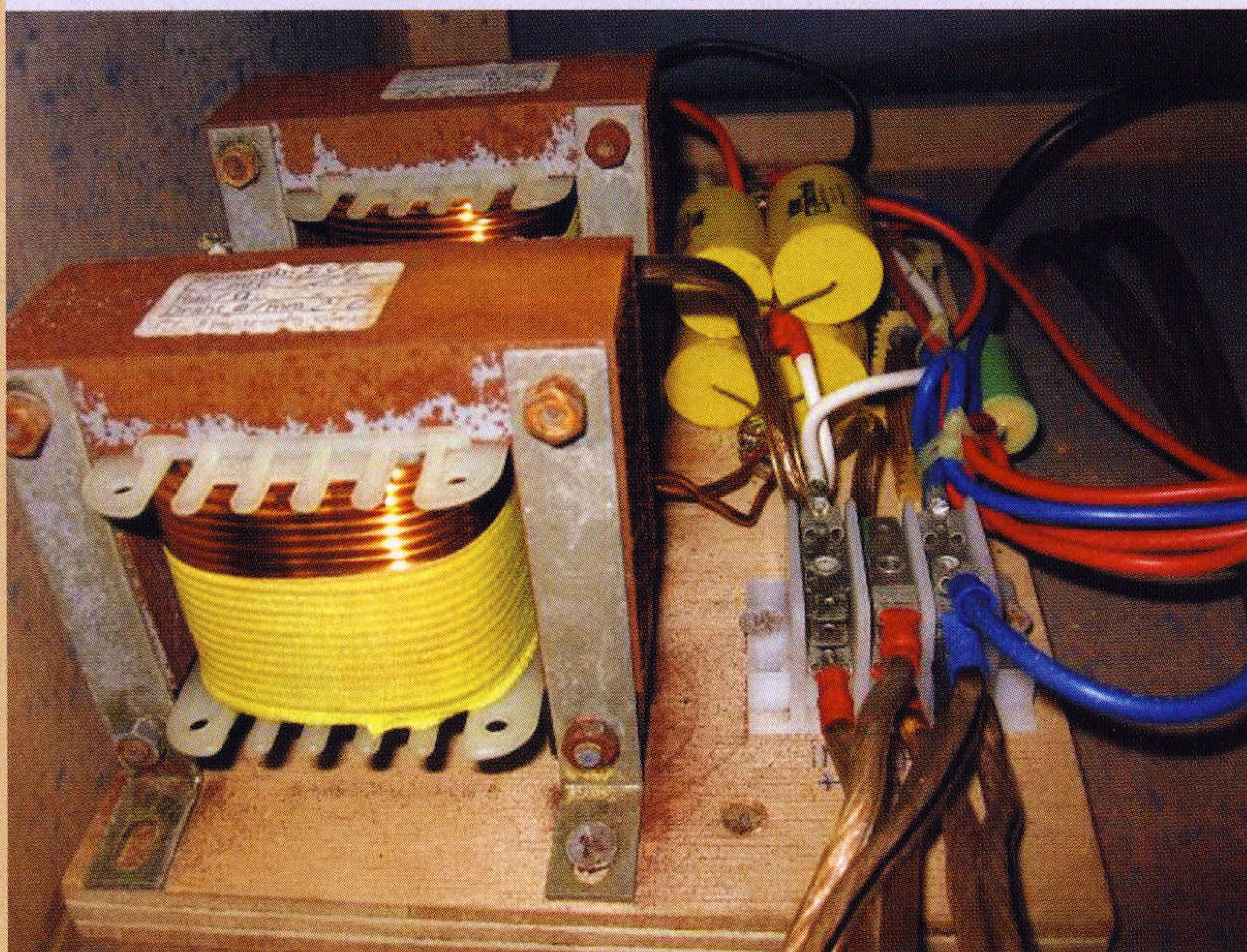




Figuur 1:
Impulsresponsies van 3e orde (bovenste spoor) en 7e orde (onderste spoor) scheidingsfilters. In het ideale geval waren beide een enkele puls bij t = 0 ms geweest, maar beide filtercombinaties vertonen versmering in de tijd, die bij het 7e orde filter ernstiger zijn dan bij het 3e orde filter. Merk op dat het uitgangssignaal van het 7e orde filter minder positief en meer negatief wordt in de buurt van t = 0 dan de responsie van het 3e orde filter. N.B. Beide filtercombinaties zijn "absoluut causaal".

sprekerbox zou moeten komen. De geluiden uit de luidsprekers moeten elkaar dan volledig opheffen, maar in de praktijk is dat natuurlijk onmogelijk. Het begint al met het probleem dat we juist scheidingsfilters gebruiken omdat de luidsprekers niet perfect zijn. Daar komt nog bij dat de luidsprekers een bepaalde onderlinge afstand hebben, waardoor het "optellen" van de geluiden niet op elke plek in de ruimte goed kan verlopen. Het resultaat is dat er (netto) al geluid wordt geproduceerd voordat de muziek begint. Dit geeft een onrustig en rommelig geluidsbeeld en kan dus maar beter vermeden worden. Daarom zal ik het verder uitsluitend over absoluut causale filters hebben.

Figuur 2:
Passieve scheidingsfilters vereisen grote componenten omdat deze grote stromen moeten kunnen verwerken, zoals goed te zien is op deze foto van een zelfbouw scheidingsfilter.



Als we het tijdgedrag van scheidingsfilters doorrekenen dan zien we dat bijvoorbeeld 3e orde filters al aanleiding geven tot tijdversmering en dit wordt erger met steilere filters. In figuur 1 staan hier twee voorbeelden van. Voor de duidelijkheid, als de filters perfect waren geweest was er een oneindig dunne "naald" te zien geweest op t = 0 ms. Bij deze berekening is overigens verondersteld dat de luidsprekers perfect zijn en dat er geen looptijdverschillen van de verschillende luidsprekers naar de luisteraar zijn. In werkelijkheid zal het dus alleen maar beroerder zijn......

Passieve scheidingsfilters

Het meest toegepaste type scheidingsfilter is het zogenaamde "passieve" scheidingsfilter. Bij deze aanpak wordt de uitgang van de versterker aangesloten op de ingang van de luidsprekerbox, waar een verzameling spoelen, condensatoren en weerstanden er voor zorgen dat het versterkervermogen verdeeld wordt over de verschillende luidsprekers. Omdat het scheidingsfilter uitsluitend uit "passieve" componenten bestaat heet dit een "passief" scheidingsfilter. Belangrijke nadelen van passieve scheidingsfilters zijn:

De componenten moeten grote stromen en vermogens verwerken. Hierdoor zijn grote onderdelen vereist (zie figuur 2) en gaan parasitaire effecten een rol spelen, zoals onder andere de weerstand van spoelen, kernverzadiging van spoelkernen, weerstand van de condensatorplaten en thermische effecten in weerstanden. Daarom is niet alleen de componentwaarde, maar ook de kwaliteit ervan bepalend voor het eindresultaat.
Dergelijke componenten hebben veelal een hoge tolerantie (± 10% of meer), waardoor de filtereigenschappen kunnen afwijken.
Het is gebleken dat de condensatoren en spoelen, die in passieve scheidingsfilters gebruikt worden, harmonische en intermodulatievervorming kunnen genereren (ref. 7) waarop gelet dient te worden bij de keuze van de componenten.
Omdat er altijd "iets" tussen de versterker en de luidspreker zit vermindert de controle van de versterker over de luidspreker, met andere woorden: de effectieve dempingsfactor wordt kleiner.
Om een evenwichtige klankbalans te krijgen moeten de rendementen van de verschillende luidsprekers op elkaar worden afgestemd, maar dat is altijd "nivelleren naar beneden".
Niet iedere gewenste karakteristiek kan worden gerealiseerd omdat dit ten koste van een te groot vermogensverlies zou gaan.
De impedantie van een luidspreker is allesbehalve een constante waarde. Dit creëert specifieke problemen die we hieronder onder de loep zullen nemen.
De luidspreker is zelf al een filter en bij het ontwerpen van het scheidingsfilter moet hier terdege rekening mee worden gehouden. Dit komt straks apart aan de orde.
Vervormingsproducten van de versterker worden selectief doorgeschoven naar de luidsprekers die de hogere frequenties verwerken. Bij oversturing kan dit een extra probleem opleveren omdat de tweeter dan

veel vermogen krijgt te verstouwen, wat deze eigenlijk niet kan verwerken en het komt dan ook regelmatig voor dat hierdoor de tweeter wordt opgeblazen.
De resulterende impedantiekarakteristiek van de luidsprekerbox vertoont veelal een onregelmatig verloop met meerdere pieken en dalen met daaraan gerelateerde faseverschuivingen tussen spanning en stroom, zoals te zien in figuur 3. Niet iedere versterker is geschikt voor het aansturen van dergelijke impedanties omdat de meeste ontworpen zijn voor het aansturen van een Ohmse (resistieve) belasting. Bij bijvoorbeeld buizenversterkers met een lage dempingsfactor "vertaalt" de impedantiecurve zich in "kleuring" van het geluid.

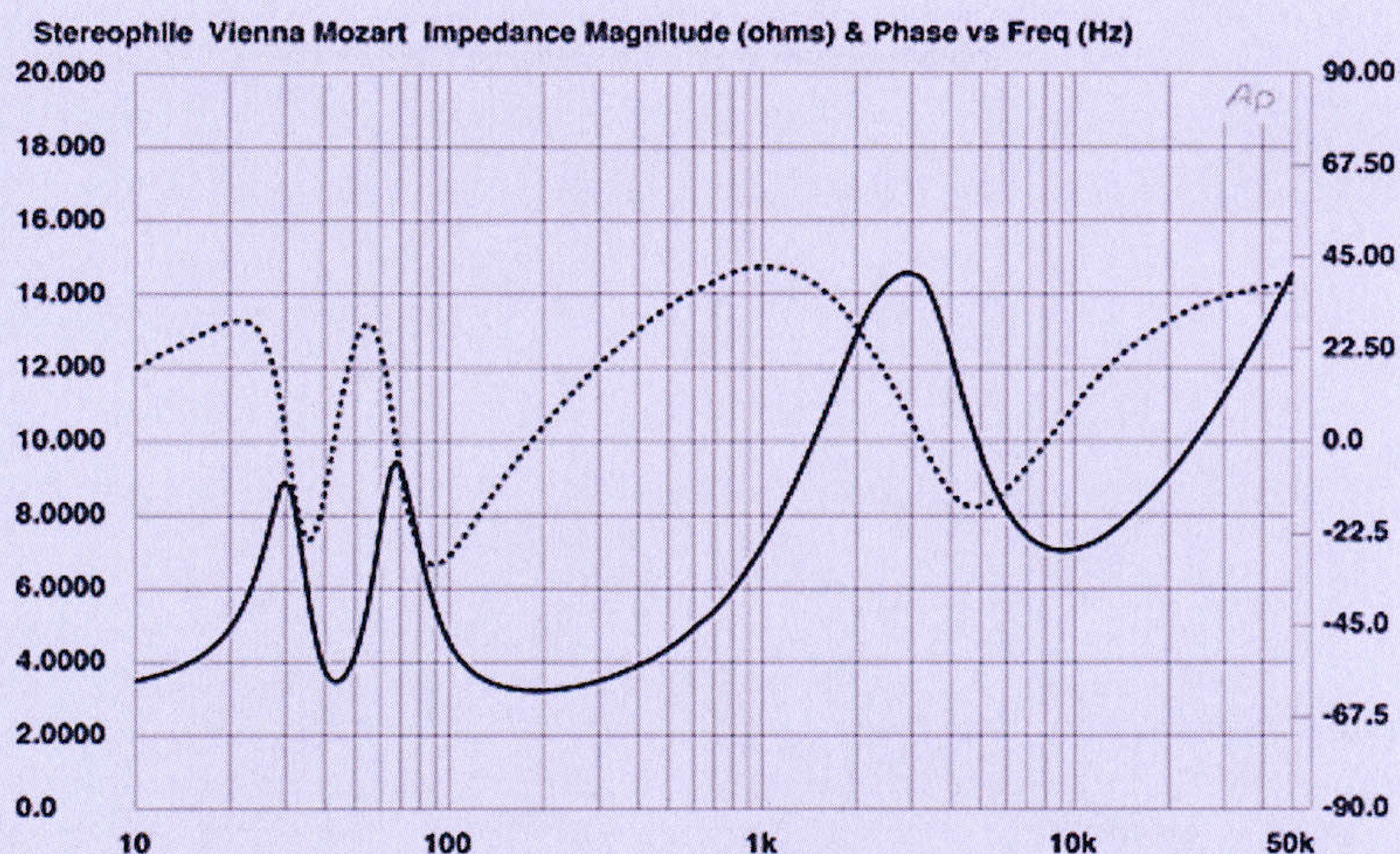
Het belangrijkste voordeel van passieve scheidingsfilters is natuurlijk dat de gebruiker de vrije keus heeft wat betreft de versterker, maar niet iedere versterker is blij met het impedantieverloop zoals dat door het scheidingsfilter wordt gedicteerd.

Luidsprekerimpedanties

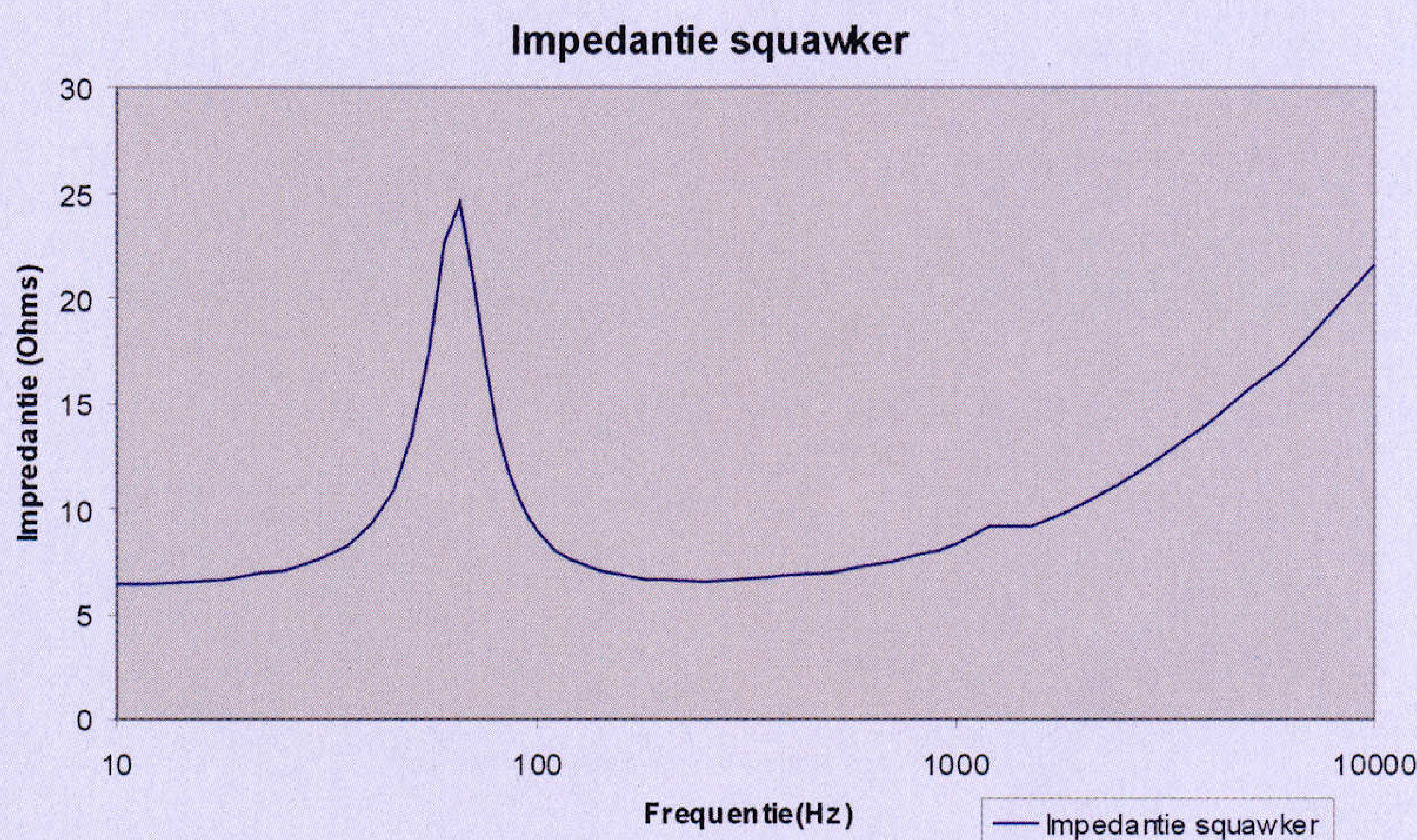
Een luidspreker wordt vaak getypeerd als een 4 of 8 Ω type, maar dat is een wel erg kort-door-de-bocht benadering. Een "8" Ω luidspreker heeft, afhankelijk van de behuizing waarin deze is ondergebracht een impedantie die varieert tussen de zeg 5 en 25 Ω. Een voorbeeld staat in figuur 4. Het gebruiken van één (Ohmse!) waarde voor de luidsprekerimpedantie bij passieve scheidingsfilters resulteert in filtereigenschappen die afwijken van de berekende karakteristieken zoals te zien is in figuren 5, 6 en 7 en dit leidt tot een slecht eindresultaat. Er staan de ontwikkelaar twee mogelijkheden ter beschikking om hier een oplossing voor te vinden:

Door meten of berekenen (modelleren) van de complexe luidsprekerimpedantie (in de behuizing) een frequentieafhankelijke impedantie in de filterberekening gebruiken. Met complex wordt hier bedoeld dat niet alleen de grootte van de impedantie wordt bepaald, maar ook de faseverschuiving die tussen stroom en spanning optreedt.
Door het toepassen van impedantiecompensatie de impedantie van de luidspreker zoveel mogelijk Ohms (resistief) maken.

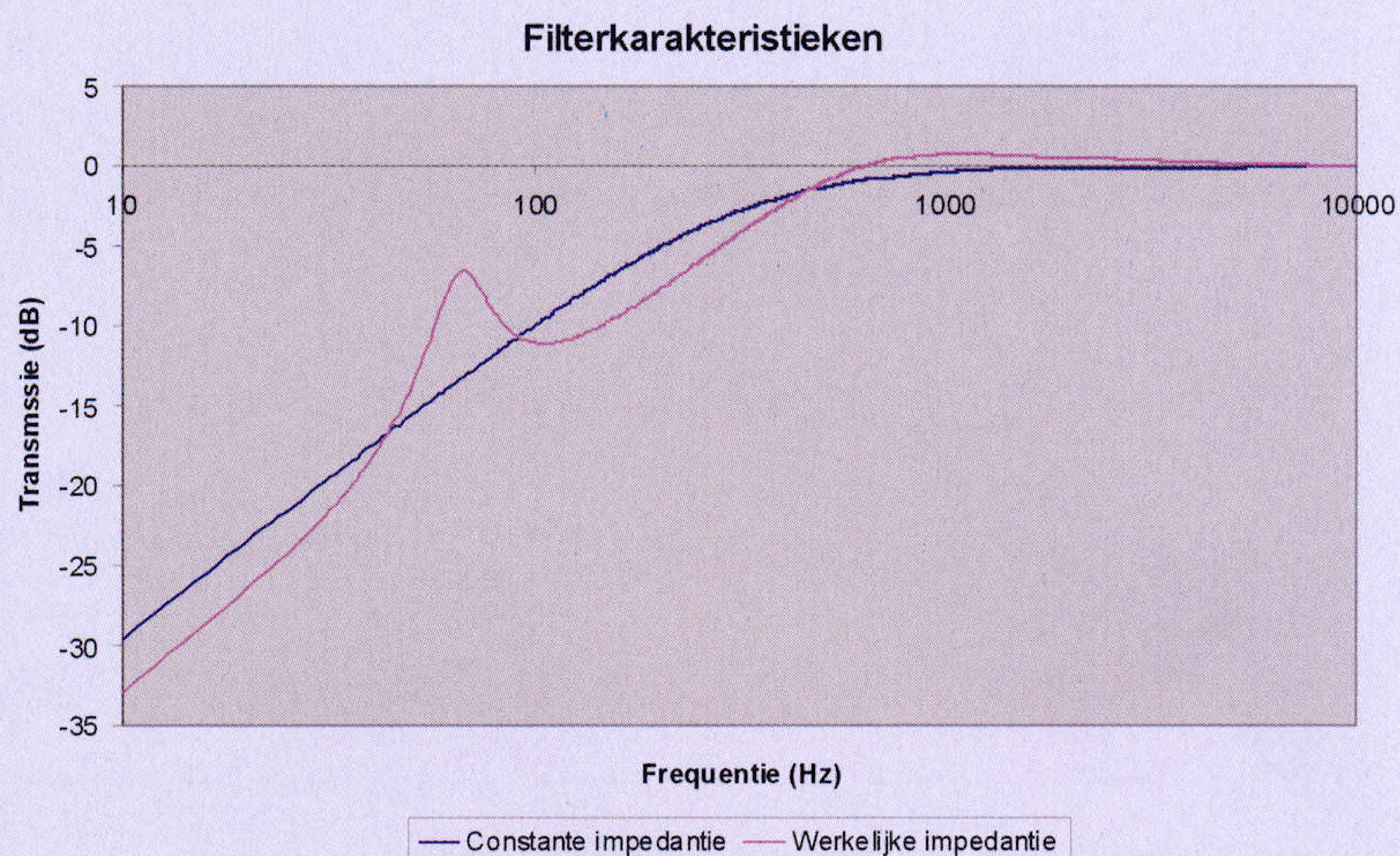
De techniek van de impedantiecompensatie is al eerder beschreven (ref. 8) en in dit kader kan ik er niet verder op ingaan. Maar het moge duidelijk zijn dat als de luidsprekerimpedantie een vrijwel constante weerstand is, het doorrekenen van het filter een stuk eenvoudiger wordt en dat een dergelijk filter zich ook beter volgens de verwachtingen gedraagt. Ook krijgt de luidsprekerbox op deze wijze een meer constante impedantie, waardoor deze minder gevoelig is voor de dempingsfactor van de (eind-)versterker. Overigens is het voor beide benaderingen zo goed als ondoenlijk om zonder computer de berekeningen met voldoende nauwkeurigheid uit te voeren.



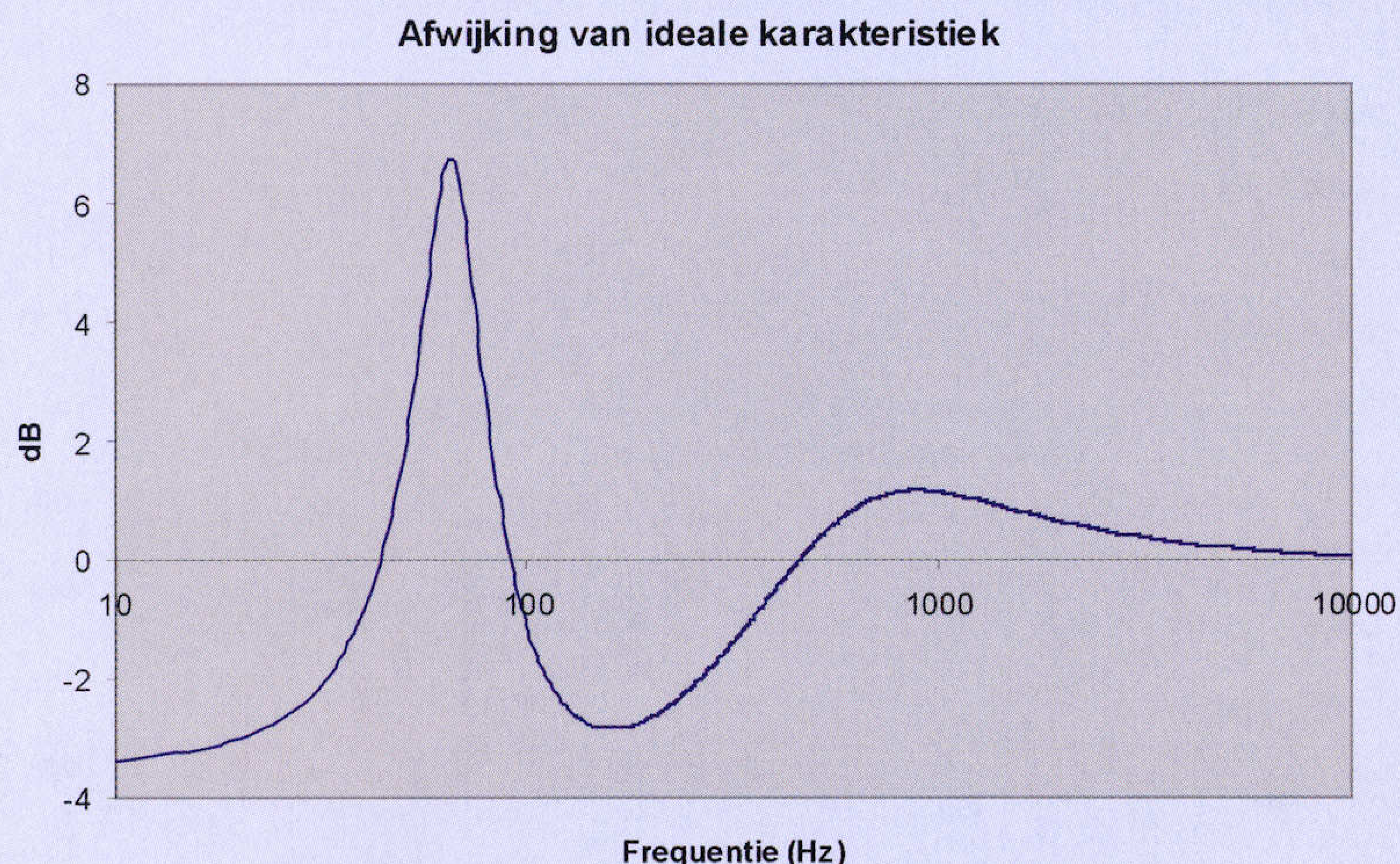
Figuur 3:
Impedantieverloop van een luidsprekerbox, zoals in de literatuur gepubliceerd. Met dank aan Stereophile. De elektrische fase is met een stippellijn aangegeven.



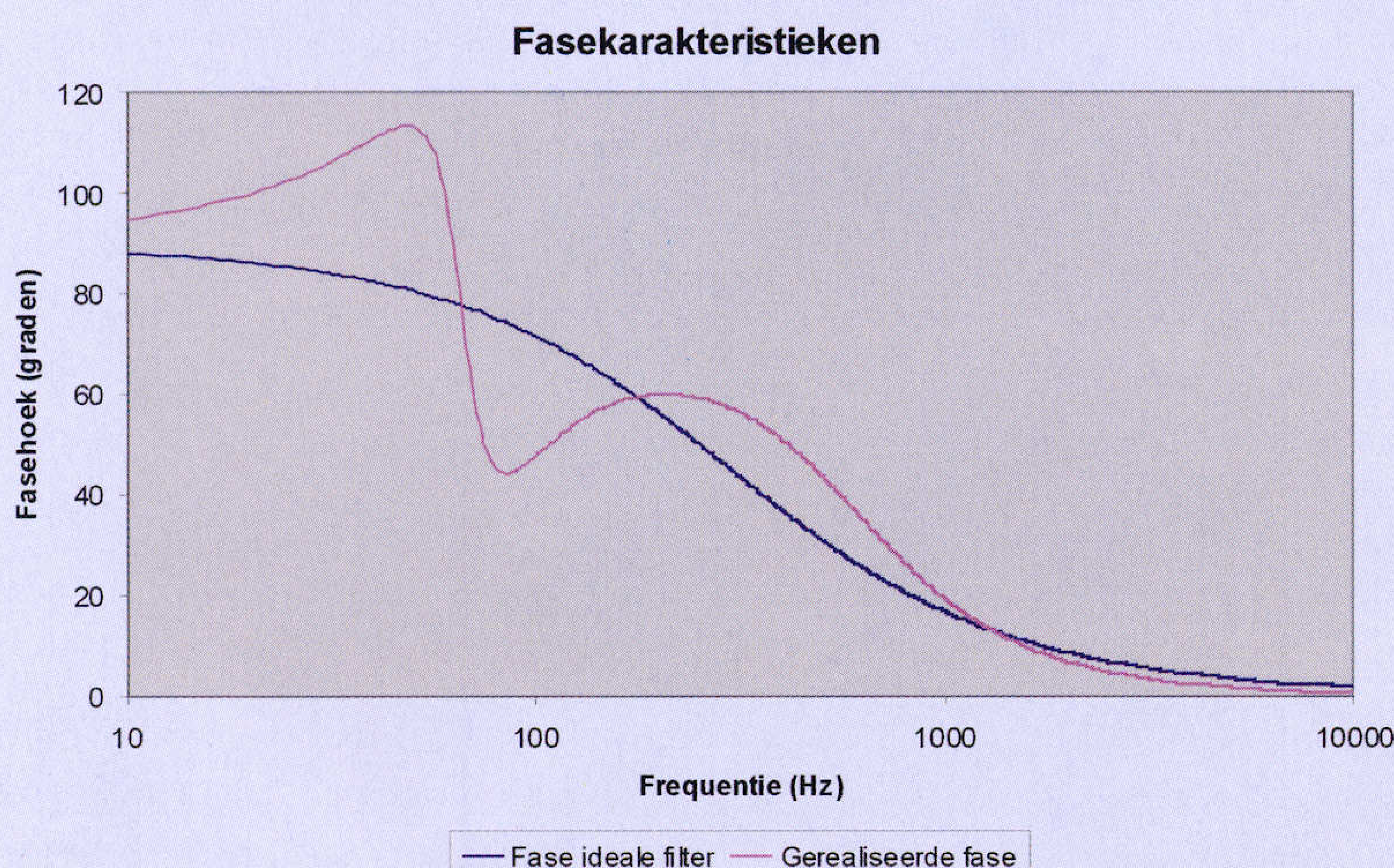
Figuur 4:
Impedantiecurve van een "8" Ω squawker in een 20 liter behuizing. De resonantiepiek is duidelijk herkenbaar, het oplopen van de luidsprekerimpedantie boven 300 Hz wordt veroorzaakt door de zelfinductie van de spreekspoel, maar deze is wervelstroomgedempt en loopt derhalve minder dan proportioneel op met de frequentie.



Figuur 5:
Invloed van de niet-constante impedantie op de filterkarakteristieken. Gebruikt is een 1e orde hoogdoorlaatfilter op 300 Hz. Blauwe lijn: met een constante impedantie van 8 Ω, rode lijn met de impedantie van de luidspreker van fig. 4. Merk op dat rond de 1000 Hz de "verzwakking" in feite een versterking is. Dit wordt veroorzaakt door de fasedraaiing van de luidsprekerimpedantie.



Figuur 6:
Afwijking tussen de ideale en de gerealiseerde filterkarakteristieken van fig. 5.



Figuur 7:
Fasekarakteristieken van de filters van fig. 5. Merk op dat voor het optellen van de geluidssignalen de fase cruciaal is (vectorieel sommeren).



Figuur 8:
Hoogdoorlaateigenschappen van tweeter met een resonantiefrequentie van ca. 600 Hz (zie onderste curve = impedantie). Beneden de resonantiefrequentie heeft de karakteristiek een helling van +12 dB/oct. Het oplopen van de karakteristiek tussen 600 en 900 Hz met 6 dB/oct. wordt veroorzaakt door akoestische kortsluiting van de open unit.

De luidspreker als filter

Veelal gaan ontwerpers uit van de premisse dat een luidspreker zich in het werkzame gebied als een ideale geluidsbron gedraagt. Overigens moet dat ook nog gelden in het frequentiegebied waarin de overdracht naar de andere luidspreker(s) plaatsvindt. Maar helaas is een luidspreker zelf ook een filter. Aan de laag-frequente kant (die voor een tweeter best 2 kHz kan zijn!) gedraagt hij zich in eerste benadering als een tweede orde hoogdoorlaatfilter en aan de hoog-frequente kant gaat hij zich op de één of andere manier als laagdoorlaatfilter gedragen, maar dat is veel meer luidsprekerafhankelijk dan de hoogdoorlaat eigenschappen. Doch bij het ontwerpen van het scheidingsfilter moet je daar wel rekening mee houden.

Iedere luidspreker heeft een resonantie, veroorzaakt door de bewegende massa en de stijfheid van de ophanging (inclusief de lucht in de behuizing). Omdat beneden de resonantiefrequentie de amplitude van de luidsprekerbeweging constant is (bij constante spanning op de klemmen) en boven de resonantiefrequentie de versnelling constant is, valt de luidspreker beneden de resonantiefrequentie met 12 dB/octaaf af, zoals te zien is in figuur 8. Dit is het geval omdat de versnelling de tweede afgeleide is van de plaatsfunctie,. De versnelling wordt met ω^2 vermenigvuldigd in verhouding met de amplitude, waardoor de helling van 12dB/oct. ontstaat. De ontwerper dient zich wel te realiseren dat het afgestraalde geluid hierdoor ook een afwijkende fase krijgt, die van invloed is op het sommeren van de geluiden uit de verschillende luidsprekers. Dus nog afgezien van mogelijke looptijdverschillen is hierdoor het gesommeerde geluid verschillend van het somsignaal van de elektrische uitgangssignalen van het scheidingsfilter. Met andere woorden: als het scheidingsfilter zo ontworpen is dat het elektrische somsignaal perfect gelijk is aan het ingangssignaal, dan zal dit in het algemeen betekenen dat dit niet voor de geluidssignalen geldt, zoals te zien is in figuur 9. Hierdoor is het eigenlijk noodzakelijk om voor een goed ontwerp de filtereigenschappen van de luidspreker "mee te nemen", anders kom je voor onaangename verrassingen te staan. Een berucht voorbeeld is het aantasten van menselijke stemmen. Als de overname tussen squawker en tweeter niet tijd-correct verloopt geeft dit aanleiding tot hoorbare afwijkingen. Het is niet voor niets dat elektrostaten en magnetostaten juist stemmen zo mooi weergeven: deze luidsprekertypes hebben namelijk geen scheidingsfrequentie in het middengebied.

Actieve scheidingsfilters

Een heel andere benadering is het gebruik van "actieve" scheidingsfilters. Deze worden vòòr de vermogensversterking geplaatst waardoor in één klap een groot aantal nadelen van passieve scheidingsfilters de nek om wordt gedraaid. Het grote nadeel van actieve scheidingsfilters zelf is natuurlijk dat voor iedere luidspreker een aparte eindversterker nodig is. Dat heeft wel als bijkomend voordeel dat iedere eindversterker het gemakkelijker heeft (smalbandiger gebruik), vervormingsproduc-

ten niet naar de andere luidsprekers kunnen worden doorgeschoven en dat de rendementen van de luidsprekers verliesvrij op elkaar kunnen worden afgestemd (ref. 9), waardoor meer "headroom" ontstaat. Ook is het eenvoudiger om de filtereigenschappen van de luidspreker in het scheidingsfilter te verwerken en/of andere gewenste filterkarakteristieken te realiseren. Want er hoeft nu geen rekening gehouden te worden met vermogensverliezen.

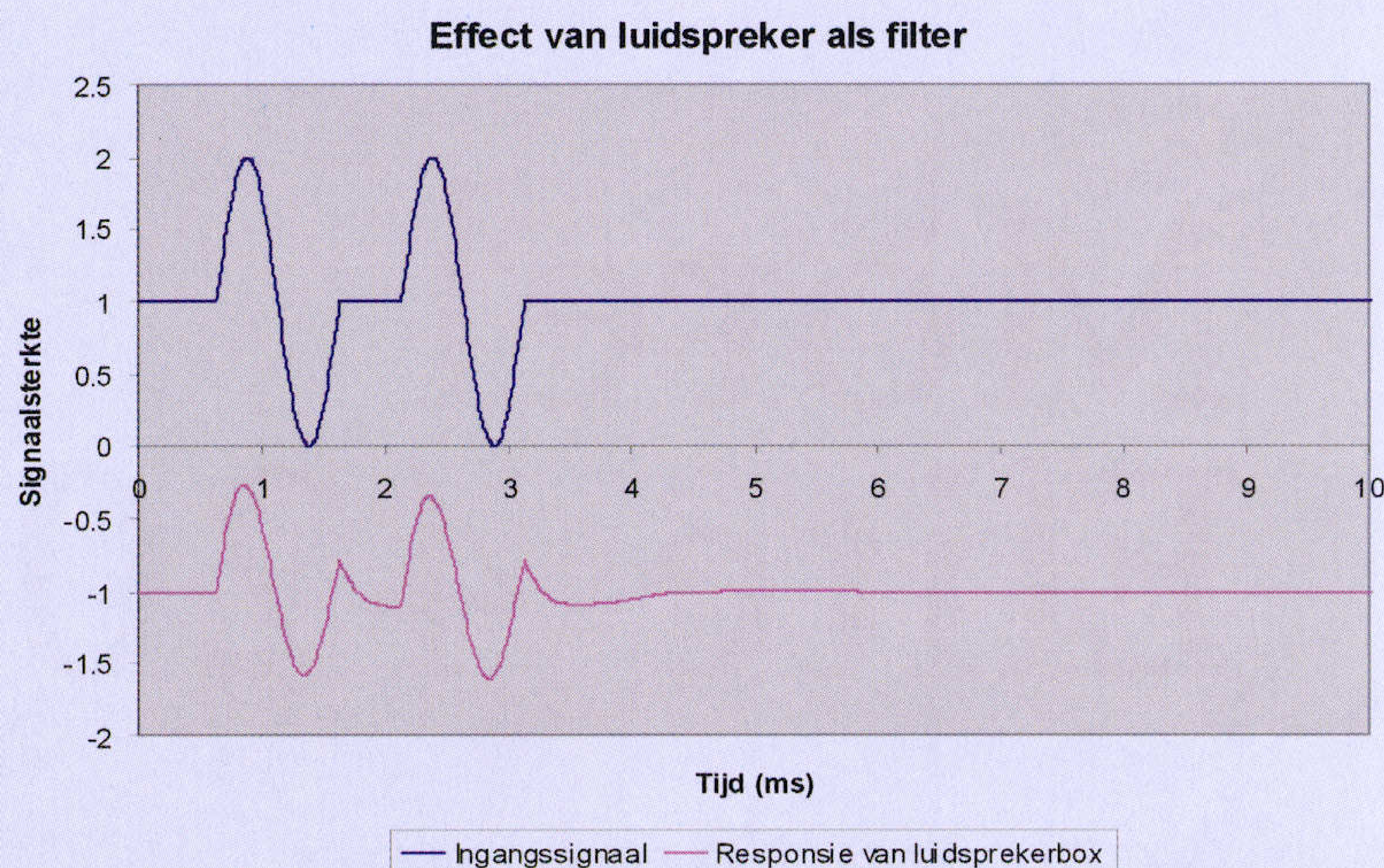
De verleiding om steile filters te gebruiken is erg groot en dat tref je dan ook bij veel actieve scheidingsfilters aan. Het resultaat is een niet meer te corrigeren afwijkend gedrag in de tijd, dat niet bevorderlijk is voor de natuurgetrouwheid van het eindresultaat. Nog erger wordt het als niet-causale filters gebruikt gaan worden. Weliswaar is het mogelijk om dan –in theorie- tijdcorrecte filtering te bewerkstelligen, maar dan krijgen we weer het hoogst onrustige geluidsbeeld, zoals hier beschreven, en dit moet ten stelligste worden ontraden. Ook voor actieve filters dienen absoluut causale types gebruikt te worden, bij voorkeur tijdcorrecte, inclusief de filtering door de luidsprekers zelf.

Conclusies

Een goed ontwerp van een scheidingsfilter is geen sinecure omdat er met veel aspecten rekening gehouden moet worden. Daarbij zijn de gedragingen van de luidsprekers in hun behuizing zowel qua elektro-mechanische omvorming als qua impedantiegedrag essentieel om tot een bevredigend eindresultaat te komen. Het gebruik van een computer is hierbij noodzakelijk omdat de berekeningen te ingewikkeld zijn om met "potlood-en-papier" te doen en dienen met de wiskunde van de complexe getallen te worden uitgevoerd. Anders is het vrijwel onmogelijk om een scheidingsfilter met een correct tijdgedrag van het afgestraalde geluid te realiseren, noodzakelijk voor de natuurgetrouwheid van het weergegeven geluid.

Bij het ontwerpen van passieve scheidingsfilters wordt het toepassen van impedantiecompensatie sterk aanbevolen omdat dit zowel de filterberekeningen vereenvoudigt als de filterresponsie verbetert. Het ontwerp van een goed impedantiecompensatienetwerk vereist eveneens een computer voor de noodzakelijke berekeningen.

Actieve scheidingsfilters bieden meer mogelijkheden, maar vereisen meer elektronica. De additionele voordelen maken het echter zeer de moeite waard om dit concept verder te evalueren voor hoog-kwalitatieve systemen.



Figuur 9:
Invloed van de hoogdoorlaateigenschappen van de luidspreker. Gesimuleerd is een tweeweg systeem, 1e orde filtering op 1000 Hz (tijdcorrect), de resonantiefrequentie van de tweeter ligt op 400 Hz en is kritisch gedempt. Bovenste spoor is gesommeerd uitgangssignaal van het scheidingsfilter, onderste spoor is gesommeerd uitgangssignaal van de luidsprekers. Woofer is ideaal verondersteld, beide luidsprekers impedantiegecompenseerd om verdere nadelige effecten door de niet-constantheid van de luidsprekerimpedanties te voorkomen. Let ook op het afnemen van de amplitude van het signaal. Dit wordt veroorzaakt door de faseverschuiving die de tweeter als filter zelf toevoegt.

Referenties

1. G.A. Briggs, "Loudspeakers", Fifth edition, October 1958, Rank Wharfedale ltd., Idle, Bradford, Yorkshire, U.K.
2. Hans van Maanen, "Fourier analyse toegepast op audio techniek", Home Studio 8/3 (april 1991), pp. 19 – 23.
3. A. Papoulis, "The Fourier Integral and its Applications", McGraw-Hill Book Company, New York (1962)
4. Dr. Hans R.E. van Maanen, "On the audibility of the "High Resolution" digital audio formats and how to test this", downloadable van www.temporalcoherence.nl
5. Hans van Maanen, "Aktieve Scheidingsfilters voor HiFi-Systemen", Radio Elektronica 21 / 1979, pp. 25 - 31
6. Dr. Hans R.E. van Maanen, "The audibility of the temporal characteristics of audio systems", downloadable van www.temporalcoherence.nl
7. Menno van der Veen and Hans R.E. van Maanen, "Non-linear distortions in capacitors", paper no. 7500, gepresenteerd op de 124e conferentie van de Audio Engineering Society, Amsterdam, Nederland, 17 – 20 mei 2008
8. Hans R.E. van Maanen and E.T. Zonneveld, "An Extended Model for the Impedance and Compensation of Electro-Dynamic Loudspeaker Units and their Determination", paper no. 3823 (P8.1), presented at the 96th AES Convention, February 26 - March 01 1994, Amsterdam (Netherlands)
9. Dr. Hans R.E. van Maanen, "The Advantages of "Active" Audio Systems over "Passive" Systems", downloadable van www.temporalcoherence.nl
10. contact: anieb@wxs.nl

Morel Elite 420

Actieve tweeweg boekenplank luidspreker



Door Louis Timmer

Een groot deel van audio minnend Nederland moet het doen zonder ruime woonkamer waar grote luidsprekers geplaatst kunnen worden. De meesten zullen genoegen moeten nemen met een studentenkamer of een vrij kleine woning. Om tegemoet te komen aan de wens van kwaliteitsweergave uit een kleine luidspreker is deze op Morel drivers gebaseerde actieve luidspreker ontwikkeld. Mocht de eigenaar toch ruimer gaan wonen, of behoefte hebben aan meer fundament in 't laag, dan kan deze luidspreker eventueel voorzien worden van een subwoofer die de laagste regionen voor z'n rekening neemt. In combinatie met de hier gepresenteerde tweeweg luidspreker ontstaat dan een slanke drie-weg zuil. De afmetingen van de Elite 420 zijn zeer beperkt, zelfs nauwelijks groter dan de voor de filtering en versterking gebruikte Hypex AS2.100 actieve DSP/versterker. De keuze voor het actief filteren en versterken is tweeledig; in de eerste plaats wordt zo een zeer compacte luidspreker gerealiseerd en kan men op een dure eindversterker besparen, in de tweede plaats accepteert de luidspreker direct signalen vanuit een PC of MP3 speler. Zo wordt ook aan de trend, waarbij men steeds vaker muziek op een PC systeem opslaat, tegemoet gekomen.

Inleiding

Morel heeft tegenwoordig woofers beschikbaar die geschikt zijn voor kleine basreflex behuizingen. Met de hier gebruikte woofer kunnen we volstaan met een bruto kastinhoud van slechts 3,25 liter, waarbij rekening is gehouden met het volume wat de Hypex AS2.100 inclusief ringkern trafo inneemt. Het kastje bestaat uit slechts 6 panelen, waarbij de achterkant door de Hypex AS2.100 wordt gevuld. De 10 cm woofer uit de Elite serie is een zogenaamde lange slag woofer, wat een relatief begrip is bij deze doorsnede. Immers, met deze diameter wordt er geen enorme hoeveelheid lucht verplaatst. Juist in kleine luisterruimtes is dit een voordeel. De tweeter is een zeer compacte uitvoering, eveneens uit de Elite serie van Morel.

Na de keuze voor deze drivers werd besloten om de actieve Hypex AS2.100 met ingebouwde Digital Signal Processor (DSP) filtering toe te passen. Op deze wijze kan men de speaker op diverse manieren actief aansturen en eventueel de klank van de speakers naar eigen smaak, respectievelijk de eigenschappen van de luisterruimte aanpassen. Het is zelfs mogelijk door middel van de delay mogelijkheden van de DSP het front kunstmatig te kantelen. Dit heeft als voordeel dat we het geluidsbeeld meer of minder omhoog kunnen richten wanneer de luidsprekers van dichtbij (bijvoorbeeld tijdens gebruik naast een PC) beluisterd worden.

De drivers

In dit ontwerp wordt gebruik gemaakt van de nieuwe Morel EW 428 woofer, de opvolger van de MW-114s en MW-115s. Ondanks de compacte afmetingen is de driver een volwaardige midwoofer, met een maximale

uitslag van ± 4,5 mm en een frequentiebereik van 45-3500 Hz. De nominale belastbaarheid bedraagt maar liefst 150 Wrms. Het nieuw ontworpen Uniflow frame is dermate open dat de anatomie van de unit blootgelegd is.
De grote 54 mm Hexatech spreekspoel met zeskantig aluminium draad is aan de buitenzijde zelfs zichtbaar vanwege het EVC (External Voice Coil) principe dat Morel hier heeft toegepast. De ontwikkelde warmte kan op die wijze optimaal worden afgegeven aan de omgeving, temeer omdat er via gaatjes in de spreekspoel drager en de open poolkern een extra luchtcirculatie wordt geforceerd. Deze EW 428 is vooral geschikt voor gepoorte systemen en berekend op een netto kastinhoud van ca 2,7 liter. Overigens zou u in combinatie met een woofer systeem ook een EM 428 midrange unit met exact dezelfde afmetingen, maar een compleet ander magneetsysteem en ophanging, in een 1,3 liter gesloten behuizing kunnen toepassen. In dat geval kunt u het woofer volume en de ruimte voor de versterkermodule d.m.v. een tussenschot van elkaar scheiden en de poort weglaten.

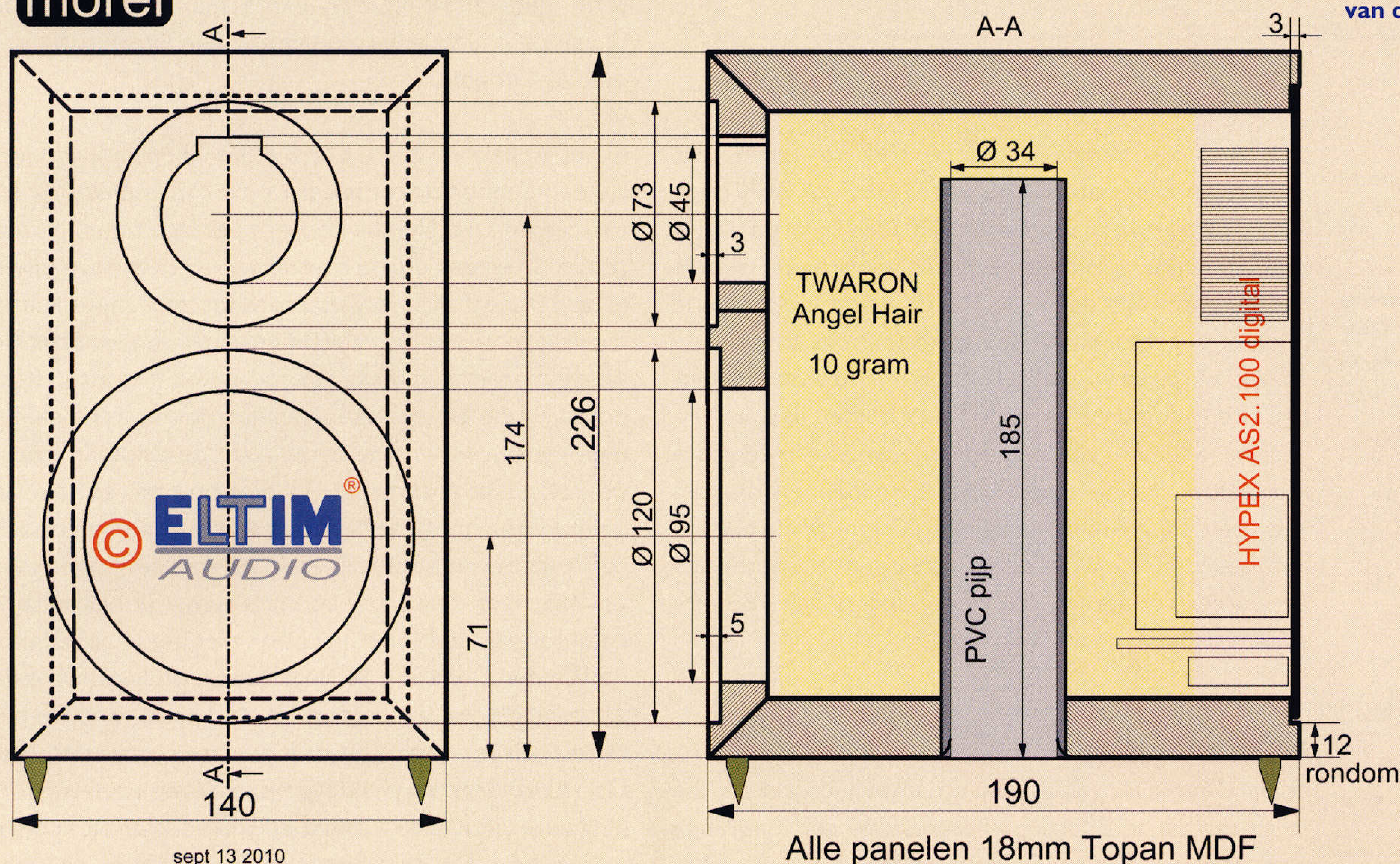
De gebruikte tweeter ET 448 is een doorontwikkeling van de MDT-44, tot voor kort het beste compacte model van MOREL. Ook hier heeft de firma zich aan de moderne tijd aangepast met een aantal vernieuwingen. Door de zijden, handgecoate 28 mm softdome, is de efficiënte demping en ook de vergrote gat naar de gedempte kamer te zien. Door het nieuwe IDR front is de off-axis afstraling verbeterd in vergelijking tot de MDT-44. De aandrijving geschiedt met een aluminium Hexatech spreekspoel en een dubbele neodymium magneet.

De behuizing

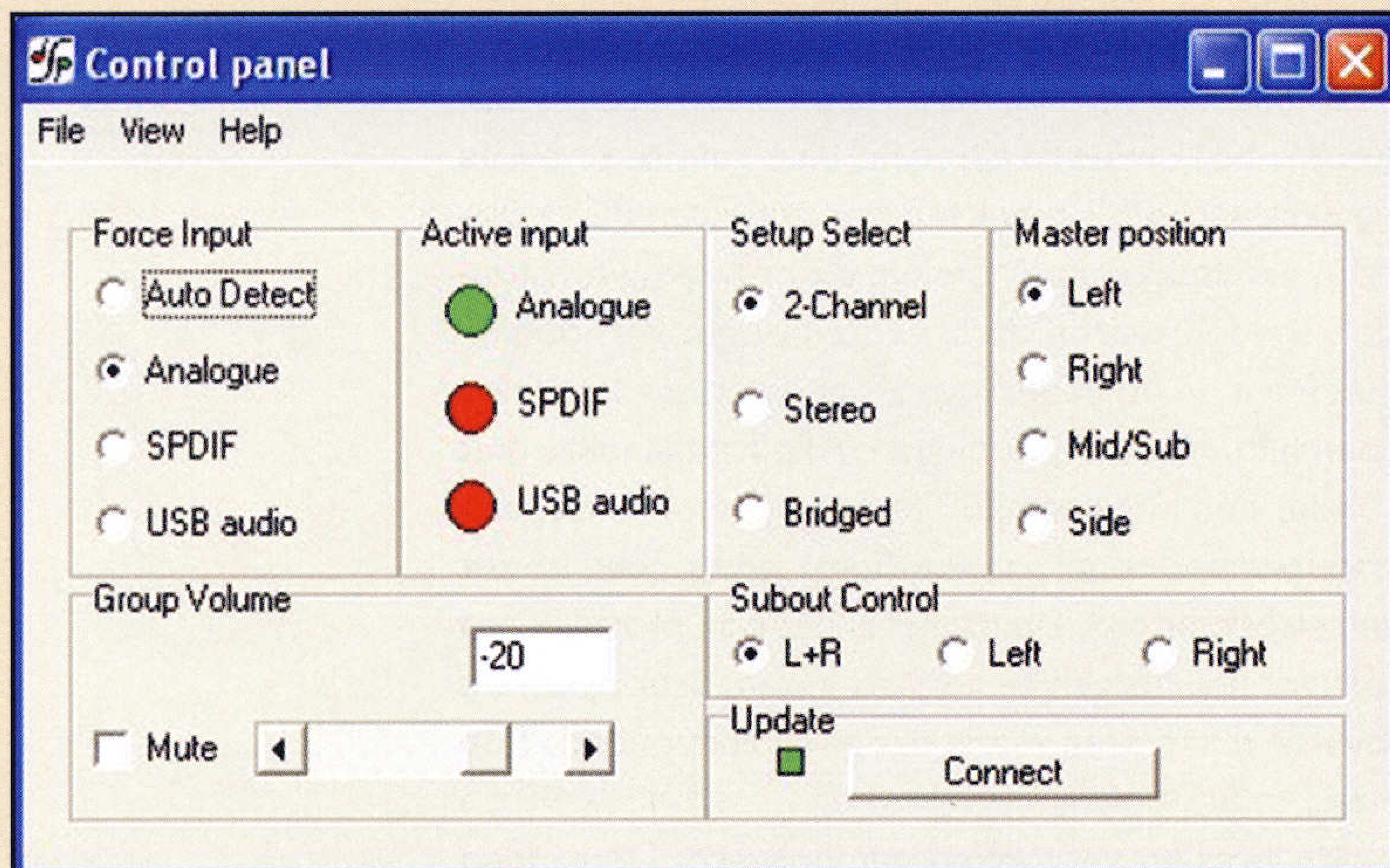
Met een breedte van slechts 14 cm en een hoogte van 22,6 cm is het ontwerp prima in elke ruimte te plaatsen, eventueel zelfs op het bureau naast een PC monitor of in een boekenkast. Ook in dit ontwerp wordt de 'gulden snede' waarbij de breedte/hoogte verhouding van het front en de onderlinge afstanden tussen de units voldoen aan deze verhoudingen. Alle kastpanelen dienen onder een hoek van 45° gezaagd te worden, waardoor ze perfect op elkaar aansluiten en er geen kopse kanten zichtbaar zijn. Eventueel is het ook mogelijk om de kast zonder dergelijke verstek gezaagde panelen op te bouwen. De maten zijn in dat geval eenvoudig uit de tekening te herleiden.
De units worden verzonken gemonteerd. De randen van het kastje kunt u met een frees met koplager afronden. Verlijmen van de panelen gaat prima met behulp van een stoffen sjorband waarmee de zij- en boven/ onderpanelen bij elkaar gehouden worden. Het beste is het om de kast met de luidspreker openingen naar boven op een schoon en vlak oppervlak te leggen. Nadat de panelen redelijk strak tegen elkaar zijn getrokken kunt u het frontpaneel er op leggen en het geheel goed uitlijnen. Vervolgens het front iets verzwaren door er wat gewicht op te leggen. Leg er echter niet te veel gewicht op want dan dreigen de panelen uit elkaar te wijken. Het achterpaneel bestaat vrijwel volledig uit de Hypex AS2.100 actieve versterker/DSP. De module is 3 mm verzonken gemonteerd, zodat een vlakke achterzijde ontstaat.

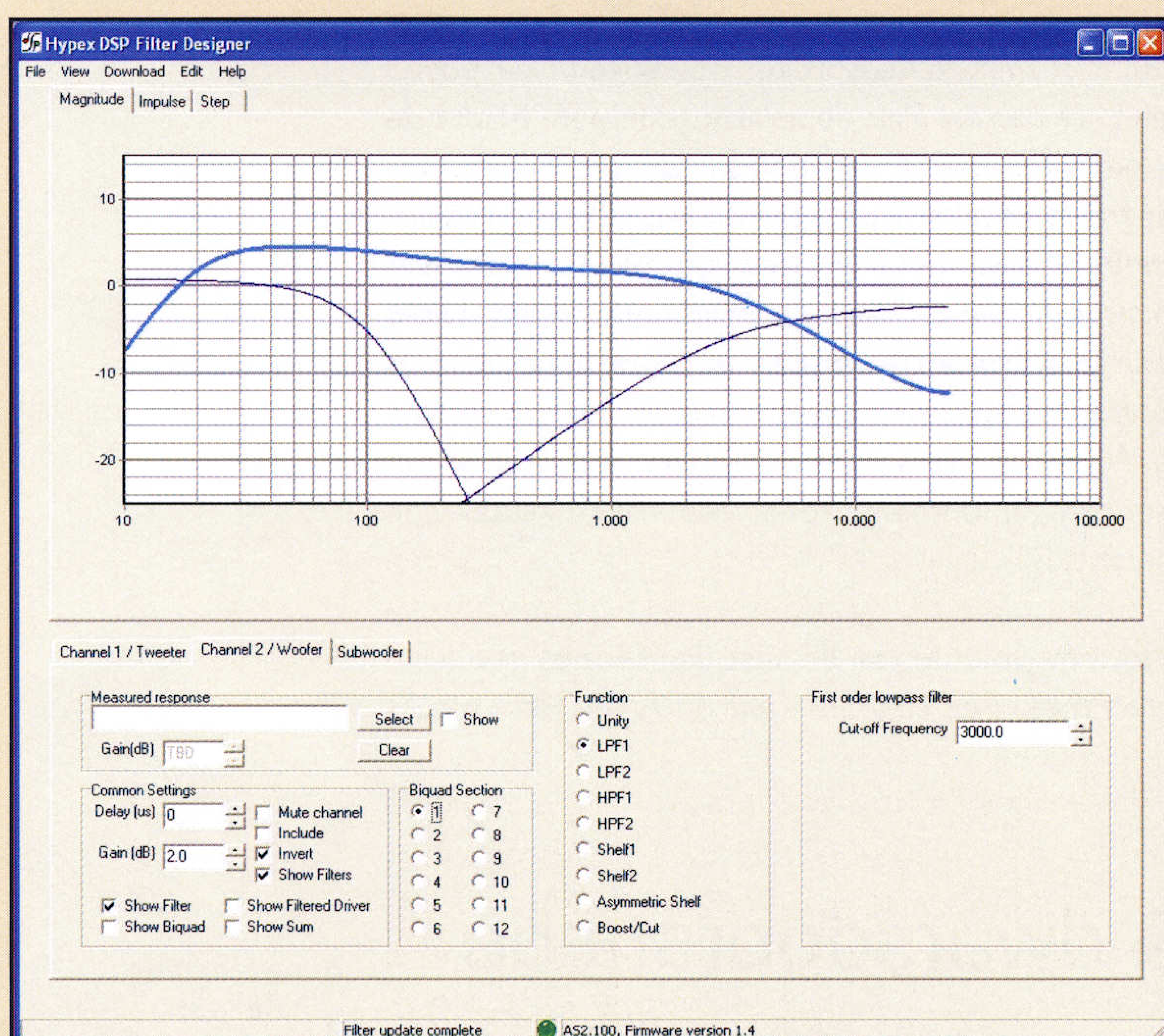
Het interne volume van de kast dient losjes gevuld te worden met circa 10 gram Twaron Angel Hair. Het is





Figuur 1. Bouwtekening van de kast.





Figuur 2. Opstartscherm van de Hypex DSP software.

Figuur 3. Filter Design menu van de Hypex DSP software.

uiteraard ook mogelijk om de kast te vullen met andere dempingmaterialen zoals Dacron of BAF, maar het beste resultaat wordt bereikt met Twaron Angel Hair. Vanwege ruimtegebrek aan de voor- en achterzijde alsmede vanwege de lengte van de poort is deze in de bodem aangebracht. De luidspreker moet daarom op voetjes of spikes worden geplaatst om de poort te kunnen laten ademen. We wilden voorkomen dat het hinderlijke 'ademen' van de poort vanwege een te grote luchtstroomsnelheid hoorbaar is en hebben daarom voor een vrij grote diameter van 33 mm (PVC buis 40 mm) gekozen. Vanwege de vrij lage eigen resonantie van de woofer resulteerde dit in een lengte van 185 mm voor een optimale afstemming.

De filtering

Er zijn diverse mogelijkheden om deze luidsprekers aan te sturen en te filteren. Allereerst de conventionele methode waarbij er een passief filter wordt gebouwd. We zullen hier echter de filtering door middel van de Hypex AS2.100 actieve versterker/DSP bespreken, voor meer informatie over passieve filtering kunt u de ontwerper benaderen.

Het uiteindelijke ontwerp van de Elite 420 is opgebouwd met een Hypex AS2.100D in elke luidspreker. Deze 'D' variant beschikt naast analoge ingangen tevens over een SPDIF en USB audio mogelijkheid. De DSP's van de modules dienen met behulp van de bijgeleverde software te worden geprogrammeerd. In fig. 1 is het opstartscherm getoond, waar u links (Force Input) kunt kiezen welke ingang u wenst te gebruiken. Wij hebben de analoge ingang geselecteerd. Als u de Auto Detect functie inschakelt herkent de DSP welke van de drie ingangen (Analoog/S-PDIF/USB) wordt gebruikt. In de tweede kolom (Active Input) laat de DSP zien welke ingang actief is. De derde kolom (Setup Select) laat u kiezen in welke mode de module moet functioneren. Wij hebben voor de 2-Channel functie gekozen. In de vierde kolom (Master Position) kunt u aangeven welke unit de master is; dit in verband met de verdeling van de signalen naar de overige kanalen.

Het vak Group Volume geeft de huidige volume stand aan en de unit reageert hier op als het is aangesloten. Het Subout Control vak bepaalt welk signaal er naar de sub-lijnuitgang van de module gaat. Met een enkele subwoofer is dit L+R en hoeft u maar één interlink van de master naar de subwoofer aan te leggen. Met twee subs is het links resp. het rechtersignaal en voert iedere module een subsignaal naar een eigen woofer versterker. Nadat u deze keuzes hebt gemaakt gaat u onder View naar het menu Filter Design, waar een veelvoud aan mogelijkheden (zie Figuur 2) wordt gepresenteerd. Indien u dit voor het eerst toepast zal er wellicht eerst enige verwarring ontstaan, maar al gauw zal het duidelijk worden wat de bedoeling is. Voor sommigen zal de term Biquad nieuw zijn; dit is een afkorting voor Biquadratic filter. Hiermee wordt een filterfunctie van de DSP bedoeld.

In het grafiekveld ziet u drie blauwe lijnen, respectievelijk een dunne horizontale lijn op +1dB (subwoofer filter), een dik getekende curve in het lage tonen gebied (kanaal 2) en een dunne blauwe curve in het hoge tonen gebied (kanaal 1). In deze screenshot hebben we kanaal 2 geselecteerd in het tabveld links midden, vandaar de weergave met een dikke lijn. In het vak Measured Response kunt u een gemeten impulskromme als hexdump importeren, waarna de curven van de driver in kwestie ook zichtbaar worden. U kunt hier het gedrag van de driver en het filter bij elkaar tellen en als een totaalcurve gepresenteerd krijgen. In dit stadium houden we ons hier niet mee bezig en dit is vanwege het lineaire karakter van de Morel units ook niet perse noodzakelijk. Onder Common Settings kiest u onder andere de vertraging voor het signaal op dit kanaal, waarmee u akoestisch gezien de unit naar achteren verplaatst. Met Gain kiest u een verzwakking respectievelijk een versterking voor dit kanaal. Omdat er 5dB verschil zit in onze units hebben we de tweeter 3dB verzwakt en de woo-

fer 2dB versterkt. Indien gewenst kunt u het vakje Invert aanvinken, waarna het signaal 180° wordt gedraaid, ook een interessante optie om bij complexere filterinstellingen de juiste keuze voor de polariteit van de unit(s) te maken.

In het veld Biquad Section kiest u een filter. Er zijn 12 gekoppelde filters (Biquads) mogelijk die ieder één van de functies uit het Function vak vertegenwoordigen. Alle filterfuncties worden door de DSP bij elkaar geteld en het resultaat wordt in de grafiek gepresenteerd. In het rechter vak voert u de waardes van het betreffende filter in. Bovenin dit vak wordt tevens de functie van dit type filter vermeld. Hier staat Biquad 1 als eenvoudig 6dB laagdoorlaat filter ingesteld met een scheidingsfrequentie van 3000 Hz. Zouden we Biquad 2 aanklikken, dan zouden we zien dat deze als Shelf filter (SHELF1) staat ingesteld op 150 Hz met een maximale versterking van 3dB rond 80 Hz. Dit hebben we gedaan om de natuurlijke laagafval van een dergelijk klein kastje te compenseren. Biquad 3 staat als Hoogdoorlaat filter op 20 Hz met 12dB/octaaf (HPF2) ingesteld als rumble filter. Alle drie Biquads samen vormen zo de getoonde doorlaat kromme. Let op: per kanaal moet er minimaal één Biquad als filter staan ingesteld anders zal het gehele frequentiebereik worden doorgelaten.

Houdt vooral in de gaten dat de tweeter niet beneden 2 kHz wordt gefilterd, dus EERST de modules programmeren voordat u tweeters aansluit! Beide units kunt u met 6dB/octaaf (LPF1 resp. HPF1 instelling) filteren zoals wij ook gedaan hebben. De units op bepaalde punten een "boost" geven is ook geen enkel probleem, want het versterkervermogen van 50 W/kanaal/8ohm kunnen de units met gemak aan; ze zijn nl. geconstrueerd om een vermogen van 150 Wrms probleemloos te verwerken, zelfs met 6dB/octaaf filtering. Dit impliceert dat u ook een analoge versie in brug (80 Wrms/8ohm) kunt schakelen in combinatie met een passief filter.

Naast de lage tonen compensatie hebben we op kanaal 1 de natuurlijke afval van de tweeter vanaf ca. 15 kHz met 1,5dB gecompenseerd om een vlakke curve te krijgen tot voorbij 20 kHz. Omdat deze tweeter geen vervelende pieken heeft boven het hoorbare bereik, kunnen we dit ongestraft doen.

Het instellen van de DSP is een bijzonder leuke ervaring; men ziet EN hoort meteen wat er verandert. Voor instappers is dit leerzaam, want men hoort meteen de verschillen tussen de diverse filter instellingen. Na langere tijd luisteren kwamen we tot de volgende instellingen:

Eventuele (sub)woofer filtering kunt u naar behoefte met een zestal Biquads instellen. Als voorbeeld is het subwoofer kanaal ingesteld op een filtering op 100 Hz met 18dB/octaaf door Biquad 1 op HPF2 en Biquad 2 op HPF1 te selecteren. Indien uw subwoofer een eigen, niet uitschakelbare filtering heeft, raden wij u aan de DSP op dit kanaal uitgeschakeld te laten en gebruik te maken van de filters in de subwoofer. Is het filter uit te schakelen of gebruikt u een eindversterker zonder filter laat dan de DSP het werk doen.

Sluit u een (sub)woofer aan, zet dan Biquad 3 van kanaal 2 op ca. 100-200 Hz om zo de EW 428 van de laagste tonen te ontlasten. Sluit de units pas aan nadat u bovenstaande of vergelijkbare instellingen via de USB kabel in beide modules hebt geprogrammeerd. Overigens dient één van de modules te worden voorzien van het meegeleverde printje met aan/uit en volume toetsen Dit is dan automatisch de master unit. Er is overigens ook een fraai touch panel leverbaar zoals in ons prototype is toegepast.

Wilt u het helemaal perfect doen, dan kunt u zelfs een impulsmeting aan beide units doen en de resultaten als hexdump importeren in de bijgeleverde software. Vervolgens laat het programma deze grafieken zien en kunt u de grafieken van het betreffende filter en die van de unit bij elkaar optellen en zo het werkelijke resultaat visueel maken. Op deze wijze kunt u met behulp van de resterende biquads nog eigenaardigheden van de luisterruimte en de units compenseren. De gebruiksaanwijzing van de Hypex AS2.100D geeft hierover een uitgebreide uitleg.

Onze bevindingen

Bij dit ontwerp is het moeilijk het gedrag te beschrijven, temeer omdat we de actieve versie met DSP hebben gebouwd en er hiermee oneindig veel aanpassingsmo-

KANAAL 1:	Type	Waarde1	Waarde2	Waarde3	Functie
Biquad 1	HPF1	3000Hz	6dB/oct		Scheidingsfrequentie
Biquad 2	SHELF1	15000Hz	1,5dB	High Shelf	Compensatie natuurlijke hoogafval
Delay		125uS			Op bureau aan de PC (normaal 0-30uS)
Gain		-3dB			Rendementaanpassing
KANAAL 2:					
Biquad1	LPF1	3000Hz	6dB/oct		Scheidingsfrequentie
Biquad2	SHELF1	150Hz	3,0dB	Low Shelf	Compensatie natuurlijke laagafval
Biquad3	HPF2	20Hz	12dB/oct		Rumble filter
Gain		+2dB			Rendementaanpassing



gelijkheden zijn. Met de hierboven genoemde instellingen is het zeker in vergelijk met de PC luidsprekers die wij gebruiken een geweldige vooruitgang. Aangesloten op een echte installatie, dus niet op de PC, laten deze luidsprekers pas echt horen waartoe ze in staat zij. Wat geluidskwaliteit, detail en dynamiek betreft doen ze zeker niet onder voor een passief gefilterde luidspreker aangestuurd door een hoge kwaliteit eindversterker. Het is moeilijk te bevatten tot welke kwaliteit weergave deze luidsprekers in staat zijn in combinatie met de Hypex AS2.100D, vind maar eens een stereo eindversterker met deze mogelijkheden en van deze kwaliteit voor ca. 700,- euro.

Uiteraard moeten we van dit ontwerp geen buikschuddend diep laag verwachten. Contrabas en basgitaar worden echter verbluffend goed zonder kleuring weergegeven. Het (laag)midden en hoog is ook zeer gedetailleerd zonder enige vorm van scherpte.
Mocht het door ons voorgestelde karakter u niet bevallen, dan is het spelen met de DSP instellingen een leuke uitdaging. Mits u de tweeter niet beneden 2 kHz filtert kan er weinig misgaan. Ook is experimenteren met de fase van beide units interessant, het kan namelijk best zijn dat het signaal in tegenfase wordt aangeboden. De DSP biedt, in tegenstelling tot wat de gebruiksaanwijzing vermeldt, deze mogelijkheid voor alle drie kanalen.

Het is wel zaak om de Morel drivers altijd eerst enkele uren op spraakniveau in te laten spelen voordat er aanpassingen in de DSP gemaakt worden. De ophanging van de woofer en tweeter zijn namelijk eerst nogal stug waardoor het rendement in het begin erg laag is omdat alles nog soepel moet worden. Het heeft dan ook pas zin aan de DSP instellingen te sleutelen nadat de drivers ingespeeld zijn.

Naam:	Elite 420
Principe:	Tweeweg bassreflex, actief gefilterd
Ontwerp:	ELTIM Audio BV, Louis Timmers
Website:	http://www.eltim.nl
Midwoofer:	Morel EW 428
Tweeter:	Morel ET 448
Scheidingsfilter:	Hypex AS2.100D actieve versterker/DSP
Afmetingen:	910 x 270 x 420 mm (hxbxd) zonder voet
Netto inhoud:	3.25 liter
Prijs bouwkit:	Circa € 610,- per stuk (alle onderdelen behalve de kast)



All Black
Een verrassend veelzijdige compacte TL

Door Henkjan Olthuis

De laatste tijd is er een merkbare groeiende interesse voor het oertype van de luidspreker: de breedbander. Al het geluid door één enkele driver weergegeven staat borg voor een onovertroffen ruimtelijke weergave en dankzij het voortschrijden der techniek worden de oude nadelen van beperkingen in het hoog en laag steeds minder. Het hier gepresenteerde ontwerp combineert een moderne breedbander met een uitgekiende kast tot een compacte luidspreker die veelzijdig inzetbaar is.

Een eenweg luidspreker

De meeste commercieel gebouwde hifi luidsprekers zijn meerweg systemen, met per luidspreker meerdere drivers: tweeters, middentoners, en woofers. Dit omdat een optimale weergave van elk deel van het frequentie spectrum om een eigen driver vraagt. Maar is dat wel altijd zo? In de begindagen van de hifi bestonden vrijwel alle luidsprekers maar uit één driver die het hele frequentiegebied moest weergeven, een zogenaamde breedbander. Juist deze luidsprekers leverden vaak een zeer natuurlijk en uitermate mooi ruimtelijk geluidsbeeld op, dankzij een gelijkmatige afstraling, het ontbreken van overgangen tussen verschillende drivers en het ontbreken van een filter in het midden gebied. Maar omdat zowel in de bovenste als de onderste octaven van de muziek deze klassieke breedbanders vaak wat minder presteerden, zijn in de loop van de tijd de meerwegluidsprekers geëvolueerd. Maar met de introductie van meerweg luidsprekers, verdween ook de puntbron en daarmee vaak ook het mooie geluidsbeeld dat deze kunnen creëren.

Maar ondanks dat bij het grote publiek de breedbander wat uit beeld was verdwenen, zijn ook hier de moderne exemplaren enorm veel beter dan hun voorvaderen. Een goede breedbander heeft nu een hoogweergave die niet meer naar een tweeter doet verlangen, terwijl met de juiste kast ook de laagweergave alleszins acceptabel is voor de meeste muziek. Dit alles heeft er de afgelopen jaren toe geleid dat de breedbander aan een comeback bezig is. Een voorbeeld is de Beluga van Crafty, maar ook in de Elektor heeft de laatste jaren regelmatig een ontwerp voor een breedband luidspreker gestaan, de bekendste is waarschijnlijk wel de Needle uit de Audio Special van 2006.

Keuze van de driver

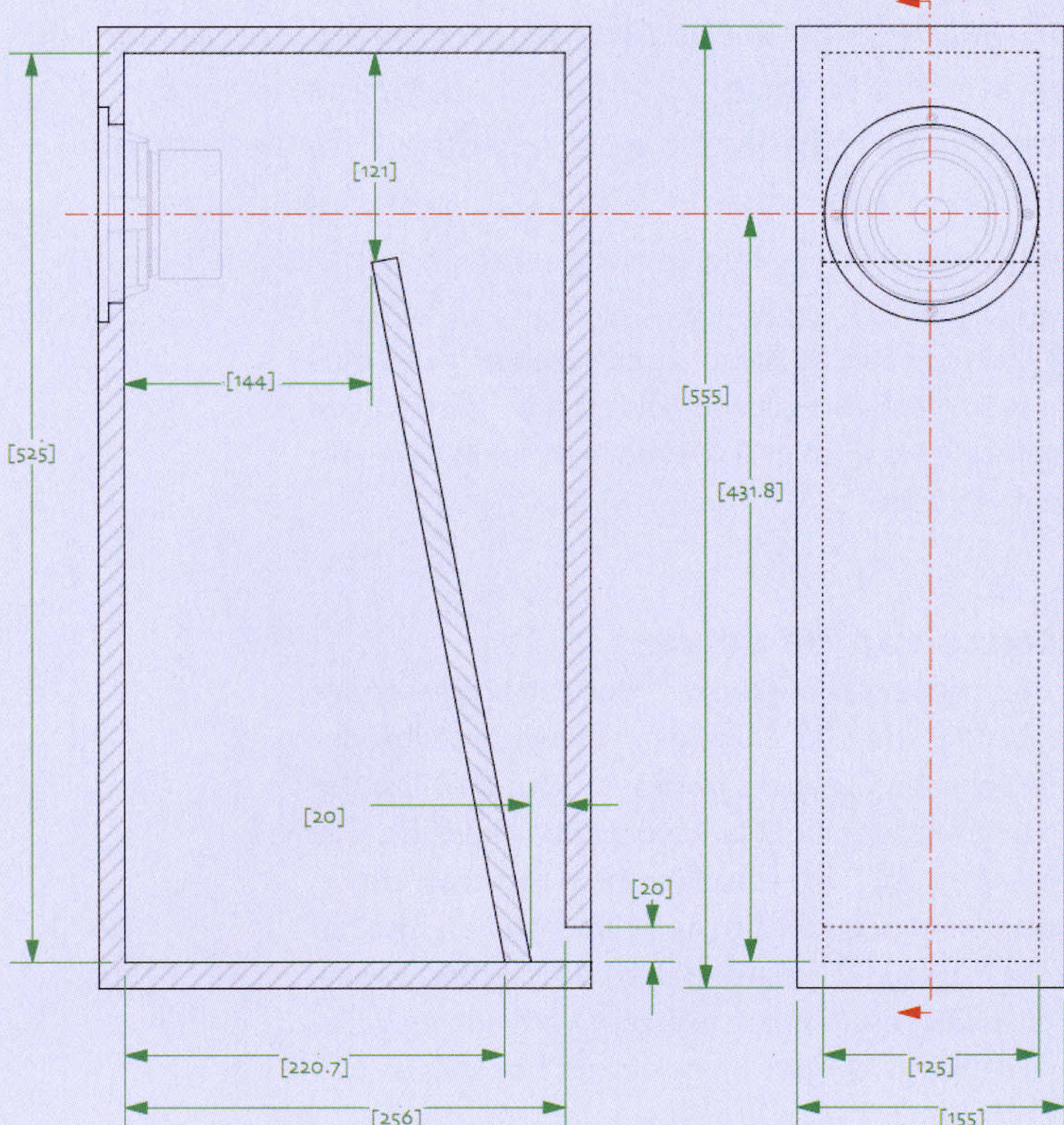
Voor dit ontwerp is er gekozen voor een hoogwaardige breedbander: de CSS EL70, een nieuwe breedbander van de bekende Canadese fabrikant. Deze breedbander is in samenwerking met Markaudio ontwikkeld. De CSS EL70 is een 4½" breedbander met papieren conus, gemaakt van hoogwaardig papier uit Japan en met het speciale Markaudio 'multi-forming' fabricageproces vervaardigd. Dit resulteert in een zeer verfijnde en gedetailleerde hoogweergave en ook in het laag stelt de CSS EL70 niet teleur.

De kast

Juist omdat er met één enkele driver wordt gewerkt is de kastvorm extra belangrijk om een goede laagweergave te verkrijgen. De meest eenvoudige kast is een gesloten volume, deze zal met de EL70 weliswaar een redelijke laagweergave opleveren, maar voor dit ontwerp ligt de lat hoger. Voor een andere vaak toegepaste kast, de bassreflex behuizing, is de EL70 minder geschikt. Echter voor een driver met de parameters van de EL70 is een transmissielijn (ook wel TL genoemd) wellicht nog de beste behuizing en biedt de beste laagweergave.

Een TL is bij uitstek geschikt om uit een kleine driver toch nog een goed laag te halen, meer zelfs dan wat verwacht zou mogen worden aan de hand van het formaat van de driver en de kast. Het bekendste voorbeeld hiervan is waarschijnlijk wel de Needle luidspreker die in de Elektor Audio Special van 2006 is gepresenteerd, die presteert het om met een 8 cm breedbander vrijwel het hele muziekspectrum goed weer te geven.

Met een goed ontworpen TL is een laagweergave mogelijk die dieper kan dan een BR, en daarbij ook een door velen goed gewaardeerde bas weergeeft. Het ontwerpen van een goed klinkende TL heeft echter wat meer voeten in de aarde dan een BR of gesloten kast. Er zijn bij een TL immers veel meer vrijheidsgraden: de lengte van de lijn, de doorsnede van de lijn (die variabel kan zijn over de lengte gezien), de plaats van de driver, de hoeveelheid en plaats van de het dempingmateriaal, etc. Gelukkig is er de laatste jaren veel vooruitgang geboekt op het gebied van het theoretisch beschrijven van een TL (het bekendste voorbeeld is de website van M.J. King) zodat ook hier het ontwerpproces geholpen kan worden door gebruik te maken van afstemmingstabellen en simulaties, zoals dit bij bassreflex kasten al vele jaren het geval is.



Figuur 1. Het kastontwerp van de All Black.

Voor dit ontwerp is gekozen voor een sterk tapse uitvoering van de lijn, met de driver op ongeveer van de lengte van de lijn, zoals te zien in Figuur 1. Door de demping te concentreren in het gesloten deel van de lijn is het gelukt om de frequentieweergave van het complete systeem mooi vlak te laten verlopen. Vlak voor de poort is nog een geringe hoeveelheid demping geplaatst om de output van de poort op het juiste niveau te brengen.

Demping van de TL

Het dempingmateriaal dat gebruikt is is gewoon BAF (zoals verkocht onder de merknaam Sonofil) voor de volumedemping, maar als alternatief kan ook langharige wol of Twaron gebruikt worden. Vrijwel al het BAF (ongeveer 50 gram) wordt in het gesloten deel van de lijn aangebracht, in het open deel (dus tussen de driver en de poort) komt slechts een heel kleine hoeveelheid. De wanddemping die op de achterwand en zijwand bij de driver geplaatst kan worden, is een dikke laag (~8 mm) vilt. Hier kan ook dik ondertapijt voor gebruikt worden, als dikke vilt niet verkrijgbaar is.

De kwantiteit van de laagweergave kan worden beïnvloed door de hoeveelheid demping in het open deel van de lijn. Hiermee kan de klank van de All Black worden afgestemd op de persoonlijke smaak en op de positionering. Bij opstelling op een meubel zal wat meer demping wenselijk zijn dan bij vrije opstelling op een standaard, waar het open deel misschien wel helemaal zonder demping toe kan.

Bouw van de kast

In de bouwtekening is de opbouw van de luidspreker te zien. Het ontwerp is zo opgezet dat de opbouw ook voor de beginnende houtbewerker goed te doen is, het belangrijkste advies is om de kast eerst zonder lijm in elkaar te zetten om te kijken of alle onderdelen passen. Het goed op maat zagen van de planken is mogelijk nog het lastigste, als men zelf niet over een goede zaagtafel beschikt kan dit bij de lokale bouwmarkt gedaan worden. Als constructiemateriaal is 15 mm dik berkenmultiplex gekozen, omdat dit zowel akoestisch als optisch een goed resultaat garandeert. Als alternatief is een andere goede kwaliteit multiplex, of eventueel MDF, van gelijke dikte mogelijk. Voor de opbouw is geen bijzonder gereedschap nodig, lijmklemmen, een boormachine, evt. een decoupeer- of figuurzaag, een soldeerbout en een schroevendraaier volstaan voor de montage.

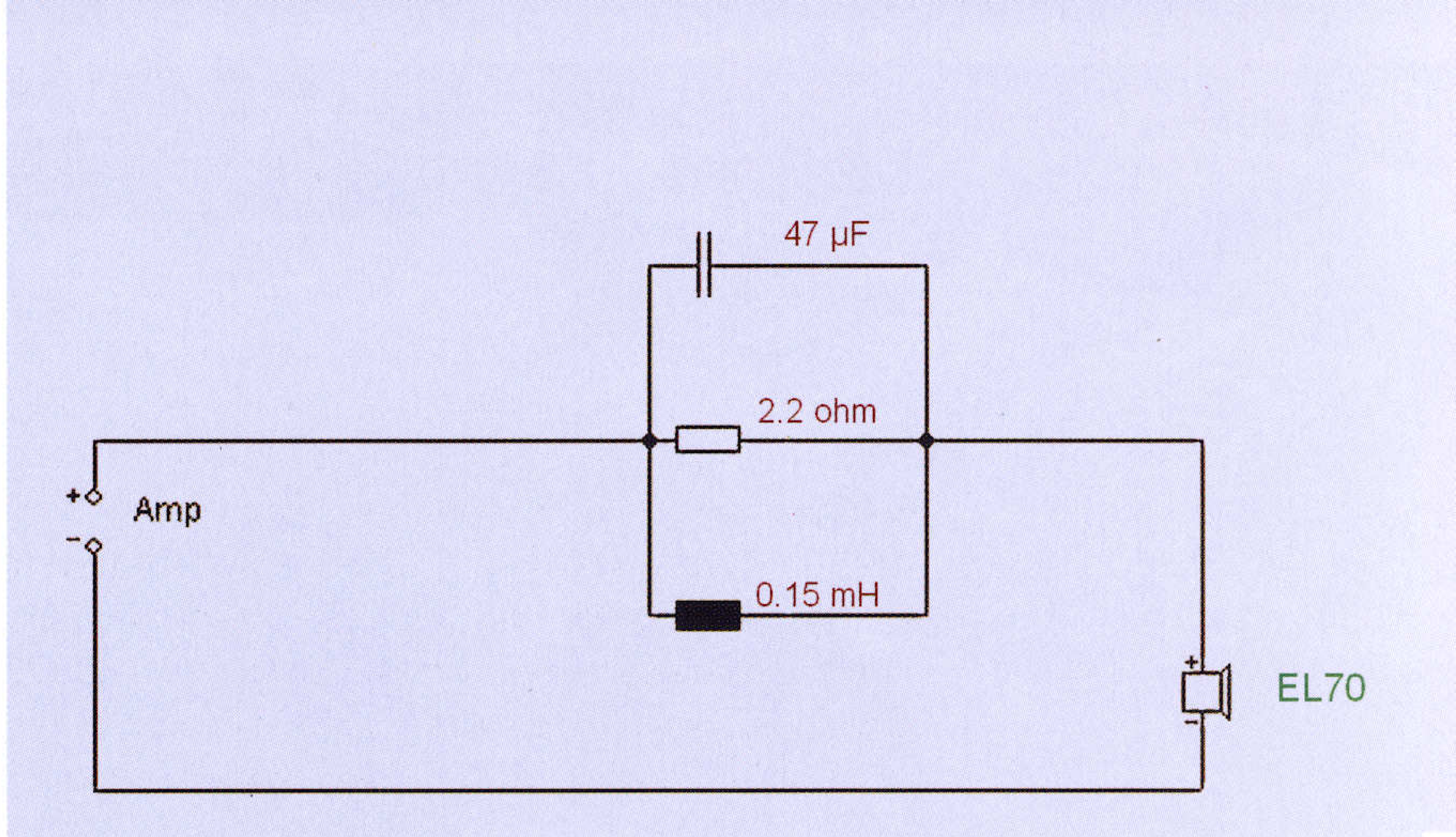
Voor de afwerking is hier gekozen voor een donker gekleurde blanke lak, waardoor de kast vrijwel net zo zwart is als de driver; dit doet denken aan de outfit van het Nieuw-Zeelandse rugby team, en daar komt dan ook de naam van de speaker vandaan. Afwerking met fineer, folie, behang, stof of in een kleurlak is uiteraard ook mogelijk, en de keuze hiervoor kan volledig naar eigen smaak (of die van de partner) worden gedaan.

Een Filter?

In principe heeft een breedbandluidspreker geen filter nodig. Geen wisselfilter in elk geval. Wel is vaak een kleine correctie nodig voor de effecten die de afmetingen van de kast op de klank heeft.

Over het algemeen wordt er bij het ontwerpen van een luidspreker systeem naar gestreefd om de frequentiecurve zo vlak mogelijk te krijgen, in sommige handboeken wordt het zelfs zo gesteld dat dit de voorwaarde is om een luidspreker het predikaat hifi mee te mogen geven. Zonder correctie is de frequentieresponse van de All Black niet helemaal vlak, we zien een vlakke bult in het middengebied. Dit heeft een niet helemaal neutrale klankkleur tot gevolg, met als meest opvallende aspect het wat nadrukkelijk weergeven van stemmen. Bij vocale muziek is dat soms wel plezierig, maar over het algemeen heeft het geen positief effect op het genieten van muziek.

Gelukkig is het vrij gemakkelijk om met een eenvoudige schakeling van drie passieve componenten de frequentiecurve vlak te krijgen, zoals te zien in Figuur 2. Dit doen we met een zogenaamde sperkring, ook wel RCL kring genoemd. In het filterschema zien we drie componenten, een weerstand van 2.2Ω, een condensator van 47 µF, en een spoel van 0.15mH die onderling parallel geschakeld zijn en gezamenlijk in serie met de driver zijn geschakeld. De hoge kwaliteit van de driver nodigt hier wel uit om voor het filter ook topkwaliteit componenten in te zetten, zoals een bandspoel van Janzen, een Cadox ThickFilm weerstand, en een Clarity SA condensator. Doordat de gebruikte waarde van de spoel vrij klein is en door slim te combineren voor de condensator, valt de aanval op het budget van deze high-end componenten gelukkig wel mee. Maar ook met gewone kwaliteitscomponenten is het audiofiel genieten met deze luidspreker. Met dit filter is de frequentieresponse van het systeem vlak te noemen binnen ±1 dB over vrijwel het hele muzikale frequentiebereik. Met het filter is de klankkleur van het systeem veel neutraler geworden, meer uitgebalanceerd. Figuur 3 laat de frequentieresponse zien met en zonder filter, figuur 4 geeft een indruk van de frequentieresponse op 0, 15 en 30 graden.



Figuur 2.
Schema sperkring/filter.

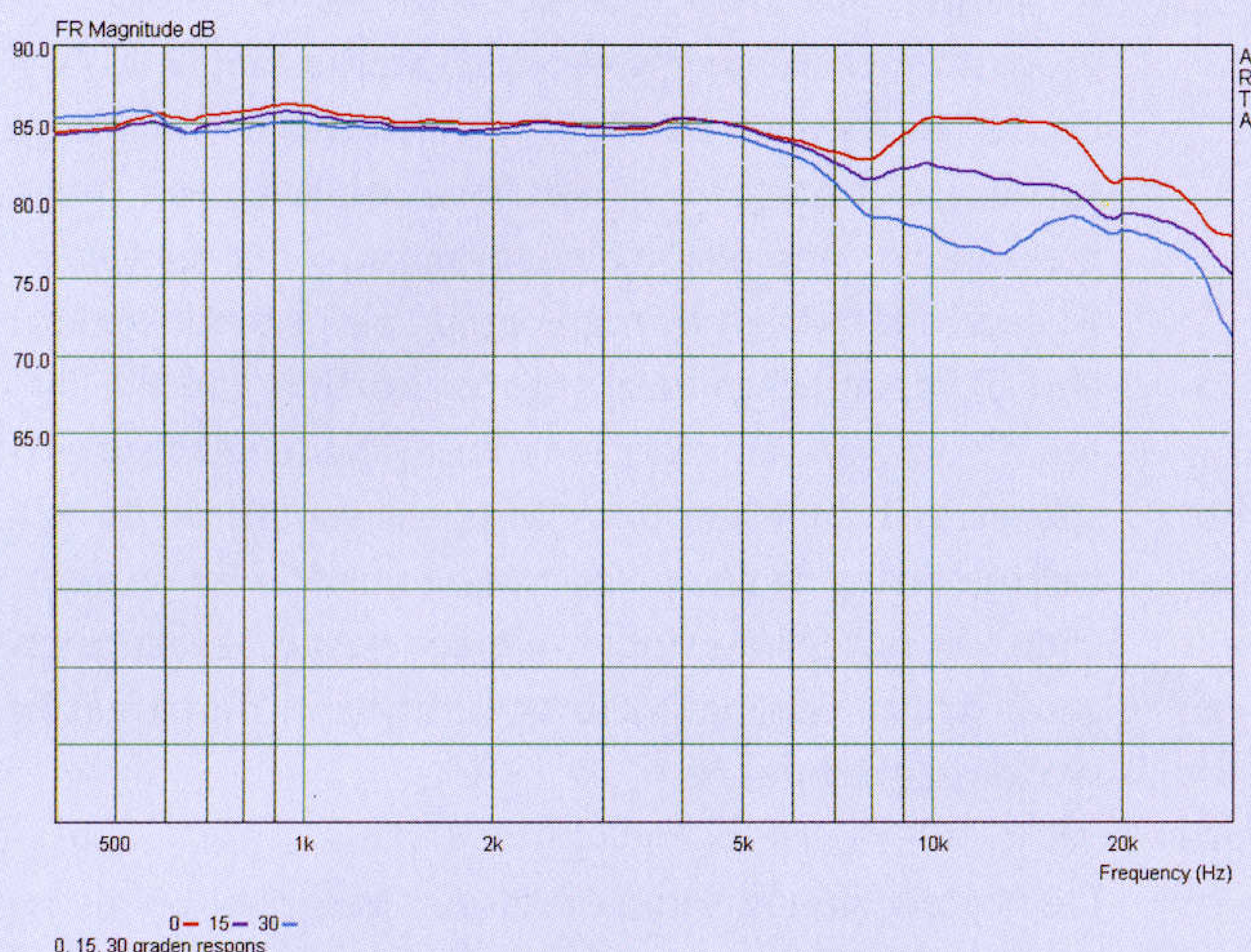
Luisteren

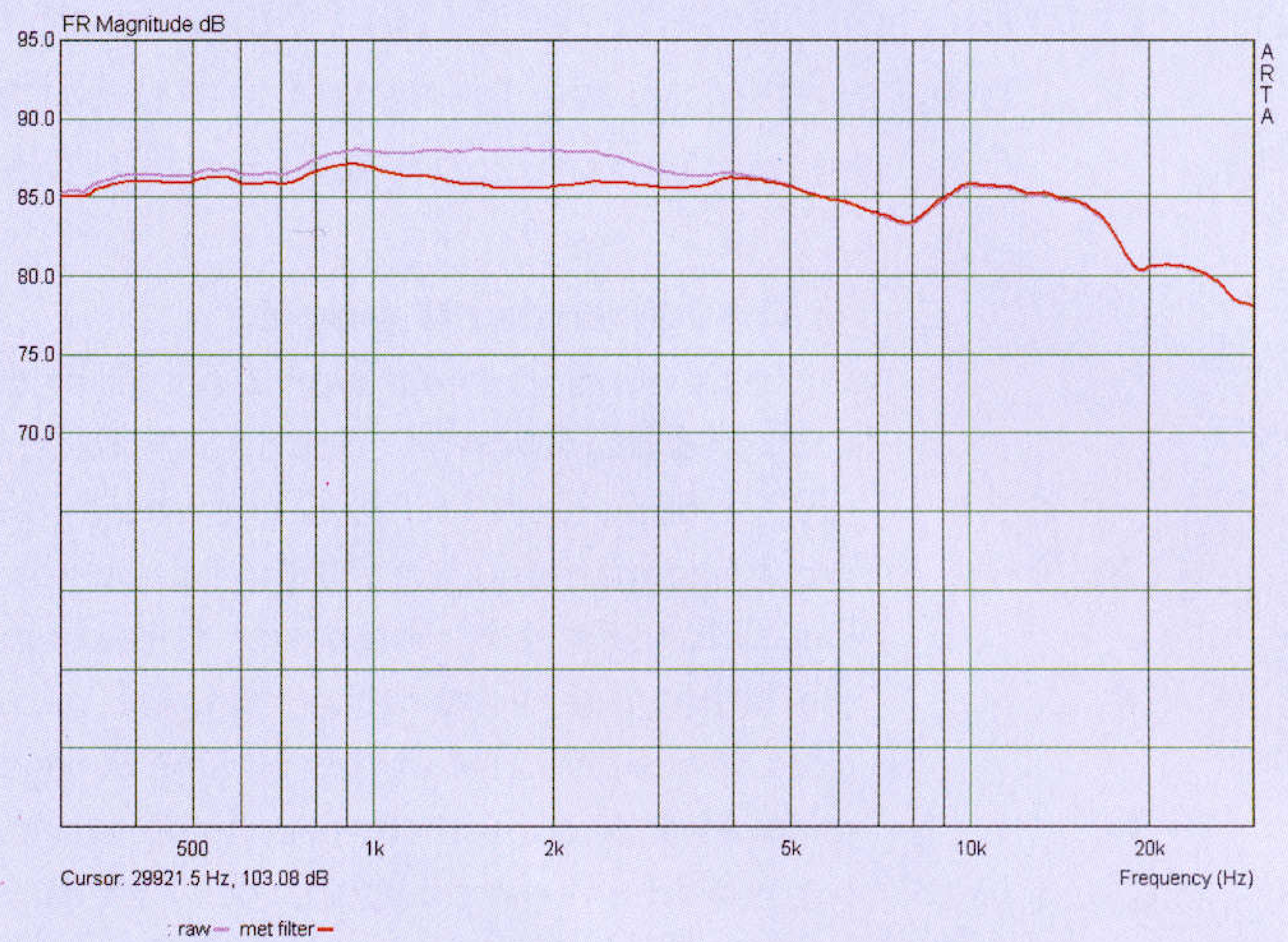
We beginnen we de luistersessie met het goed opstellen van de luidsprekers; na wat schuiven en draaien zijn we tevreden en genieten we van het unieke geluidsbeeld dat alleen een breedbander kan bieden; een bijna perfecte ruimtelijkheid. Opvallend is meteen dat het laag van deze kleine luidspreker zeer volwassen en groot klinkt, zonder gedwongen te gaan klinken. Het hoog doet ons niet verlangen naar een tweeter en is zeer subtiel en gedetailleerd. Met de CSS EL70 driver is wel duidelijk dat niet alleen het aloude principe van de breedbander met succes is gemoderniseerd, maar ook het aloude materiaal papier nog zeker tot topprestaties in staat is.

Naam:	All Black
Principe:	Eénweg transmissielijn
Ontwerp:	Henkjan Olthuis
Website:	http://www.juoiga.nl
Driver:	CSS EL70
Filter:	Sperkring
Afmetingen:	555 x 155 x 286 mm (hxbxd)
Prijs:	Circa € 150,- per paar (incl. filter, excl. hout)

Figuur 3.
Meting All Black met en zonder sperkring.

Figuur 4.
Meting All Black op 0, 15 en 30 graden.





HATT-SE MkII Micro Monitor

kleine luidspreker met pit

DOOR TONY GEE

Het is alweer ruim acht jaar geleden sinds de Humble Homemade Hifi HATT Special Edition minimonitor het daglicht zag, hoogste tijd dus voor een update. Gebleven zijn de compacte buitenafmetingen, de Seas Excel woofer met een doorsnede van slechts 12 cm en het gebruik van een serie-filter. Nieuw zijn de kastafstemming, de tweeter en uiteraard zijn er aanpassingen in het filterontwerp.

Onveranderd goed

De basis van dit concept wordt, net als bij de oorspronkelijke versie, gevormd door de Seas Excel W12CY001 (E0021-08S). Deze kleine 12 cm woofer met een grijze conus van magnesium is al flink wat jaren op markt maar kan zich nog steeds meten met de beste mini-woofers die momenteel verkrijgbaar zijn. De oppervlakte van deze conus bedraagt slechts 50 cm². In tegenstelling tot andere harde conusmaterialen heeft magnesium lagere harmonische vervormingswaardes. Met name de oneven harmonischen liggen op een veel lager niveau. Hierdoor hebben luidsprekers met conussen van magnesium een warmer karakter dan bijvoorbeeld conussen van aluminium. Ik zou zelfs zo ver willen gaan om te zeggen dat magnesium het warme van papier combineert met de doortekening van aluminium - het beste van beide werelden! De conus is opgehangen in een natuur rubberen rolrand en heeft in het midden een glimmende fase-plug van koper. Aan de achterzijde zien we een behoorlijk grote magneet die zorgt voor een sterke aandrijving van de slechts 7,5 gram bewegende massa. Een relatief lange spreekspoel zorgt voor een lineaire uitslag van 6 mm piek-piek en een maximale uitslag van 9 mm piek-piek. Al deze onderdelen worden op hun plek gehouden door een stijve, uit lichtmetaal gegoten korf die aan alle kanten is voorzien van ventilatie mogelijkheden. De spreekspoel is zelfs zichtbaar door de openingen tussen de achterste ophanging en de voorste poolplaat. Aan de voorzijde van het frame vinden we een zestal bevestigingsgaten zodat een optimale bevestiging in de behuizing wordt gegarandeerd.

De woofer werkt samen met een basreflex behuizing met een netto inhoud van 5 liter. Aan de voorzijde van

de kast bevindt zich een sleufvormige poort die is afgestemd op een lage 48 Hz. In combinatie met de parameters van het woofertje zorgt dit voor een –3dB-punt van rond de 45 Hz, erg laag voor een dergelijk kleine woofer.

Een nieuw gezicht

Nieuw voor de HATT-SE MkII is de tweeter. In het vorige model werd de Seas 27TAFC/G (H0883) toegepast, een hele mooie tweeter maar de Seas 27TBCD/GB-DXT (H1499) tweeter die in deze versie is gebruikt wordt ook toegepast in de Nebular Monitor, eveneens van Humble Homemade Hifi. Doel hiervan is te kijken hoe eenzelfde tweeter op twee totaal verschillende manieren kan worden gefilterd. In de Nebular Monitor zien we een parallel filter met steile hellingen en een correctienetwerk. In de HATT-SE MkII maakt deze DXT-tweeter gebruik van een serie-filter dat bovendien eenvoudiger van opzet is. Op de Seas 27TBCD/GB-DXT (H1499) zal ik verder niet al te veel op in gaan. Wie meer wil weten over deze tweeter met Wave-Guide, verwijs ik naar het artikel van de Nebular Monitor elders in dit blad.

Stevige kast

Ondanks zijn inhoud van slechts 5 liter is de behuizing van deze speakers uitgevoerd in mdf met een wanddikte van 22 mm. Inwendig zien we een vrij lange basreflexpoort die ook van hetzelfde materiaal is gemaakt. Samen met de relatief kleine oppervlaktes van de panelen vormt dit een dusdanig sterk geheel dat extra verstevingsschotten niet nodig zijn. Op de foto is te zien hoe een en ander in elkaar zit waarbij een aantal belangrijke details niet over het hoofd mogen worden gezien. De binnenzijde van de opening voor de woofer is rondom voorzien van een afronding om ervoor te zorgen dat het woofertje aan de achterzijde optimaal "ademt". Door de grote magneet zou er zonder deze afschuiningen onvoldoende lucht circulatie plaatsvinden achter de woofer wat tot compressie en resonanties zou kunnen leiden. Verder zijn de uiteinden van de poort voorzien van eenzelfde afronding van 10 mm. Deze afrondingen kunnen het beste gemaakt worden voordat de kast in elkaar wordt gezet.

Om ervoor te zorgen dat de toch al stijve kast nog minder zal trillen zijn alle binnenwanden, op het frontpaneel en het inwendige van de poort na, beplakt met 4 mm dik Intertechnik Bitumex FG4 loodbitumen. Om flutterecho's en staande golven in het middengebied te onderdrukken is de kast lichtjes gevuld met Intertechnik Sonofil polyester watten. Dit materiaal wordt geleverd in een zak met twee stukken, per kast wordt een half stuk gelijkmatig verdeeld over de inhoud van de kast. Mocht het laag door een opstelling dicht tegen een wand toch te vol klinken, dan kan het gehele inwendige van de kast worden gevuld met een hele plaat Intertechnik Sonofil.

Serie-filter

In tegenstelling tot de Nebular Monitor die dezelfde tweeter gebruikt, is hier een serie-filter toegepast om de frequenties te verdelen over beide units. Voor degenen die niet bekend zijn met de werking van dit type filter zal ik een en ander uitleggen door de onderdelen één voor één langs te lopen. Om te beginnen hebben we het eerste "filterende" component spoel L1. Deze spoel die parallel aan de tweeter hangt heeft dezelfde functie als een condensator die in serie zou staan met de tweeter en dient als 1e-orde hoogdoorlaat. Lage frequenties "zien" dus deze spoel niet en gaan via deze spoel naar de woofer. Heel belangrijk voor de optimale werking van dit hoogdoorlaat filter is dat spoel L1 een lage gelijk-

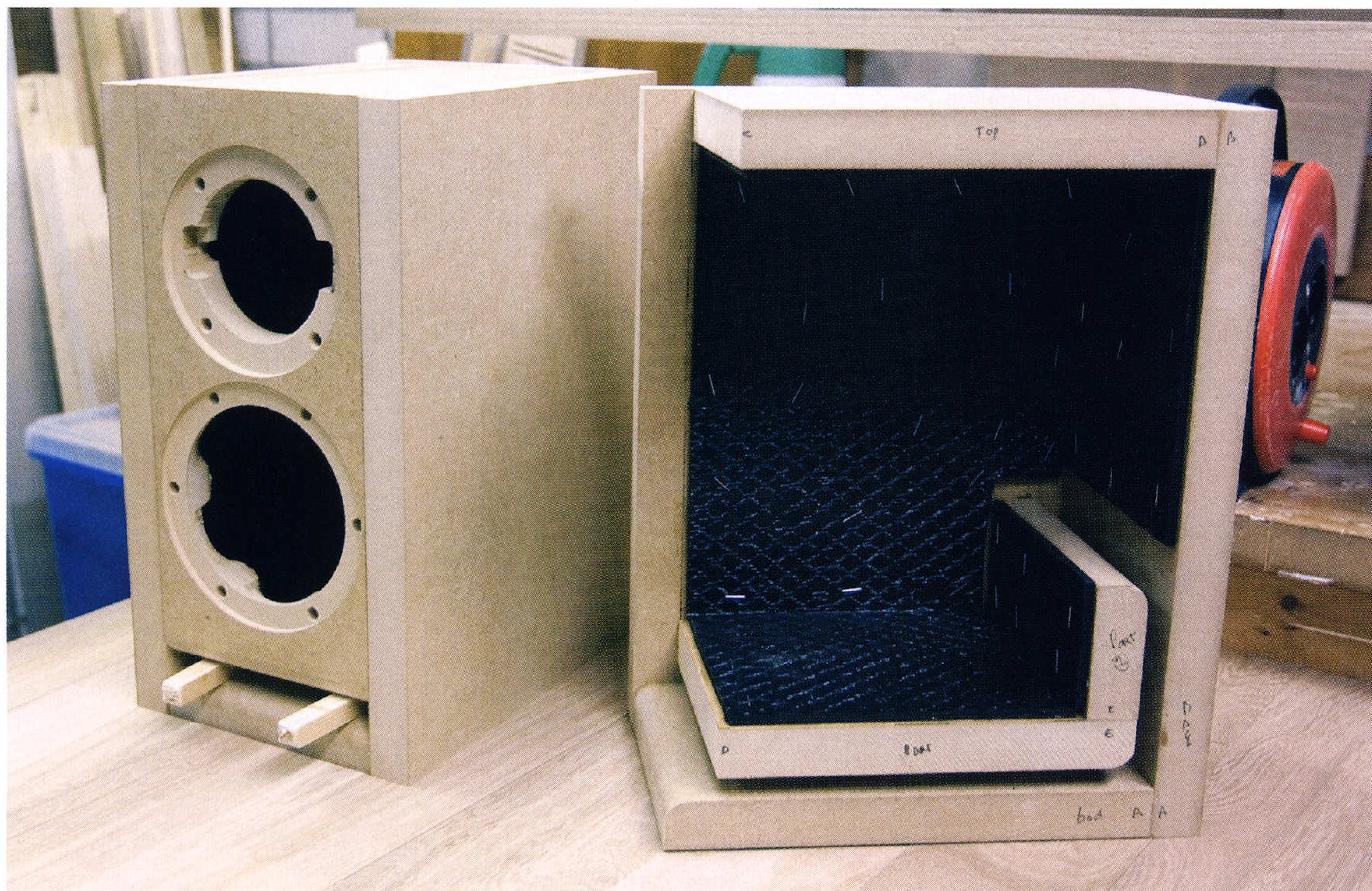
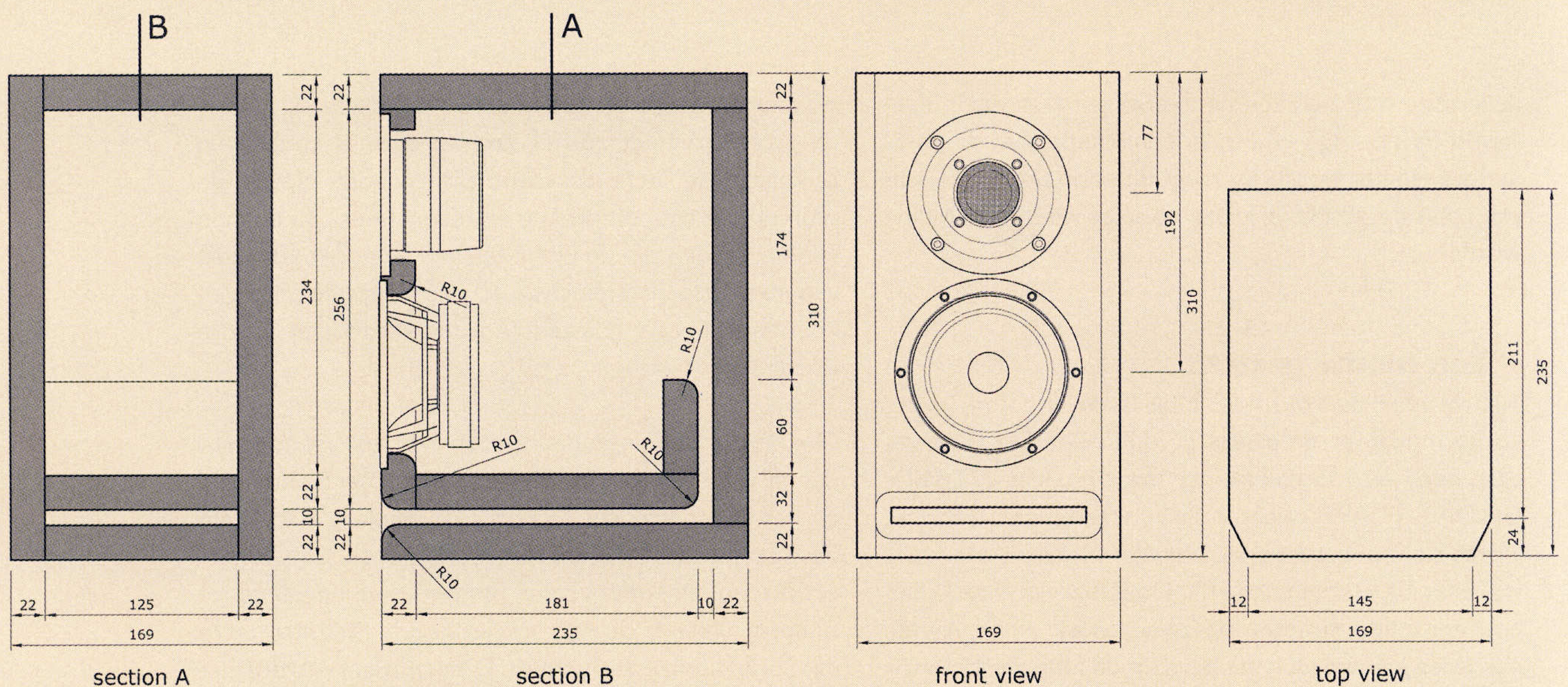


Foto 2. De HATT-SE MKII in aanbouw. Naast de bekleding van de binnenwanden met loodbitumen zijn hier goed de diverse afrondingen aan de poort te zien.



Humble Homemade Hifi - HATT Special Edition Mk-II © 2010

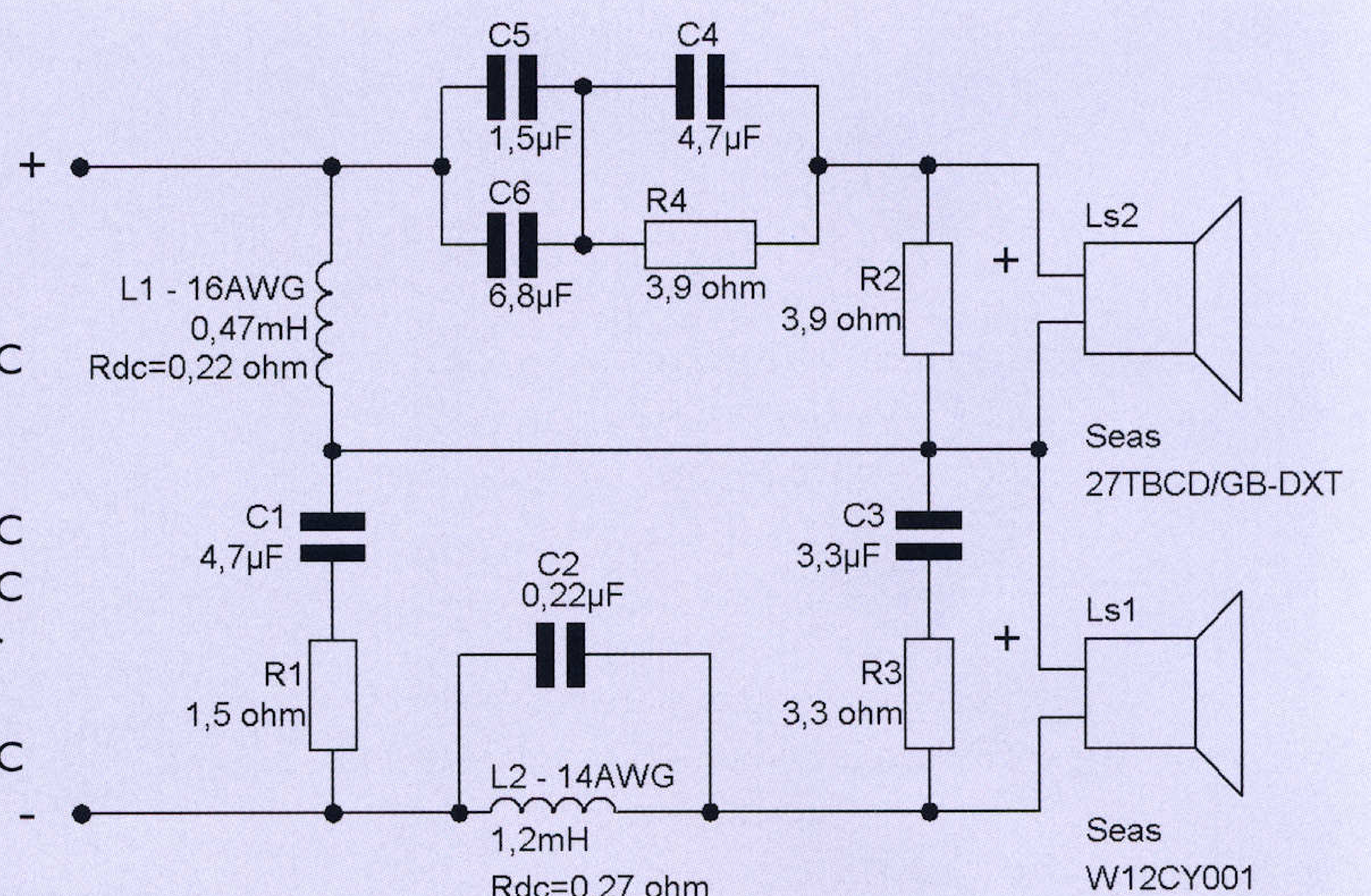
* cabinet 22mm mdf * all measurements in millimeters * Vbox=5 liter netto fb=48Hz f3=45Hz * woofer: Seas Excel W12CY-001 - E0021 * tweeter: Seas 27TBCD/GB-DXT - H1499-06

Figuur 1. De bouwtekening van de HATT-SE MkII.

stroomweerstand Rdc heeft. Hier is gekozen voor een koperfoliespoel met een Rdc van 0,22 ohm. Zou deze spoel een te hoge gelijkstroomweerstand hebben, dan zou de tweeter ook lage frequenties voor zijn kiezen krijgen, gaan vervormen en uiteindelijk defect raken. Ook spoel L2 is van dit type. Hier is een lage Rdc ook belangrijk omdat zowel L1 als L2 in serie staan met de woofer, beide waarden moeten dus bij elkaar opgeteld worden en komen dan uit op circa 0,5 ohm gelijkstroomweerstand. De functie van spoel L2 is om de zogenaamde baffle-step te compenseren. Elke woofer in een behuizing heeft een bij toenemende frequentie, een stijgende respons. Dit komt doordat hoge frequenties zich bundelen en lage frequenties naar alle kanten afstralen. Hierdoor ontstaat er op de luister as meer hoge tonen energie. Het punt waarbij de baffle-step optreedt hangt van de breedte van de behuizing af maar bevindt zich bij de meeste speakers in het gebied tussen de 500 tot 800 Hz. Door spoel L2 in serie met de woofer te schakelen worden de midden- en hogere tonen die de woofer uitstraalt op hetzelfde niveau gebracht als de lage tonen. Direct over L2 is een kleine MKP condensator geplaatst die samen met deze spoel een zuigkring vormt die is afgestemd op de membraanresonantie van de woofer bij circa 10 kHz.

Kijken we naar de rest van het filter dan komen we condensator C1 tegen die eigenlijk het tegenovergestelde doet als spoel L1. Lage tonen zien C1 namelijk als een blokkade en volgen de weg van de minste weerstand naar de woofer via spoel L2. Op hun weg door het filter zien ze verder de condensator groep C3+C4+C5 ook als blokkade, dus gaan de lage tonen niet via de tweeter, maar via het centrale verbindingspunt terug via spoel L1 naar de versterker. Verder zien we een Zobelnetwerk parallel aan de woofer die ervoor zorgt dat de stijgende impedantie van de spreekspoel wordt vlakgetrokken zodat spoel L2 optimaal werkt. Als laatste komen we nog wat weerstanden tegen die weliswaar ook enige corrigerende werking hebben maar als hoofdtaak hebben het verlagen van het niveau van de tweeter. Het gaat hierbij om de weerstanden R1+R2+R4 waarbij R2 tevens als taak heeft de impedantie van de tweeter praktisch ohms te maken.

L1 = 0,47 mH koperfoliespoel 16AWG; Rdc = 0,22 ohm
L2 = 1,20 mH koperfoliespoel 14AWG; Rdc = 0,27 ohm
C1 = 4,7 uF Clarity Cap SA 630VDC
C2 = 0,22 uF Clarity Cap SA 630VDC
C3 = 3,3 uF Clarity Cap SA 630VDC
C4 = 4,7 uF Clarity Cap SA 630VDC
C5 = 1,5 uF Jantzen Audio Superior Z-Cap
C6 = 6,8 uF Clarity Cap SA 630VDC
R1 = 1,5 ohm / 10 watt MOX
R2 = 3,9 ohm / 10 watt MOX
R3 = 3,3 ohm / 10 watt MOX
R4 = 3,9 ohm / 10 watt MOX



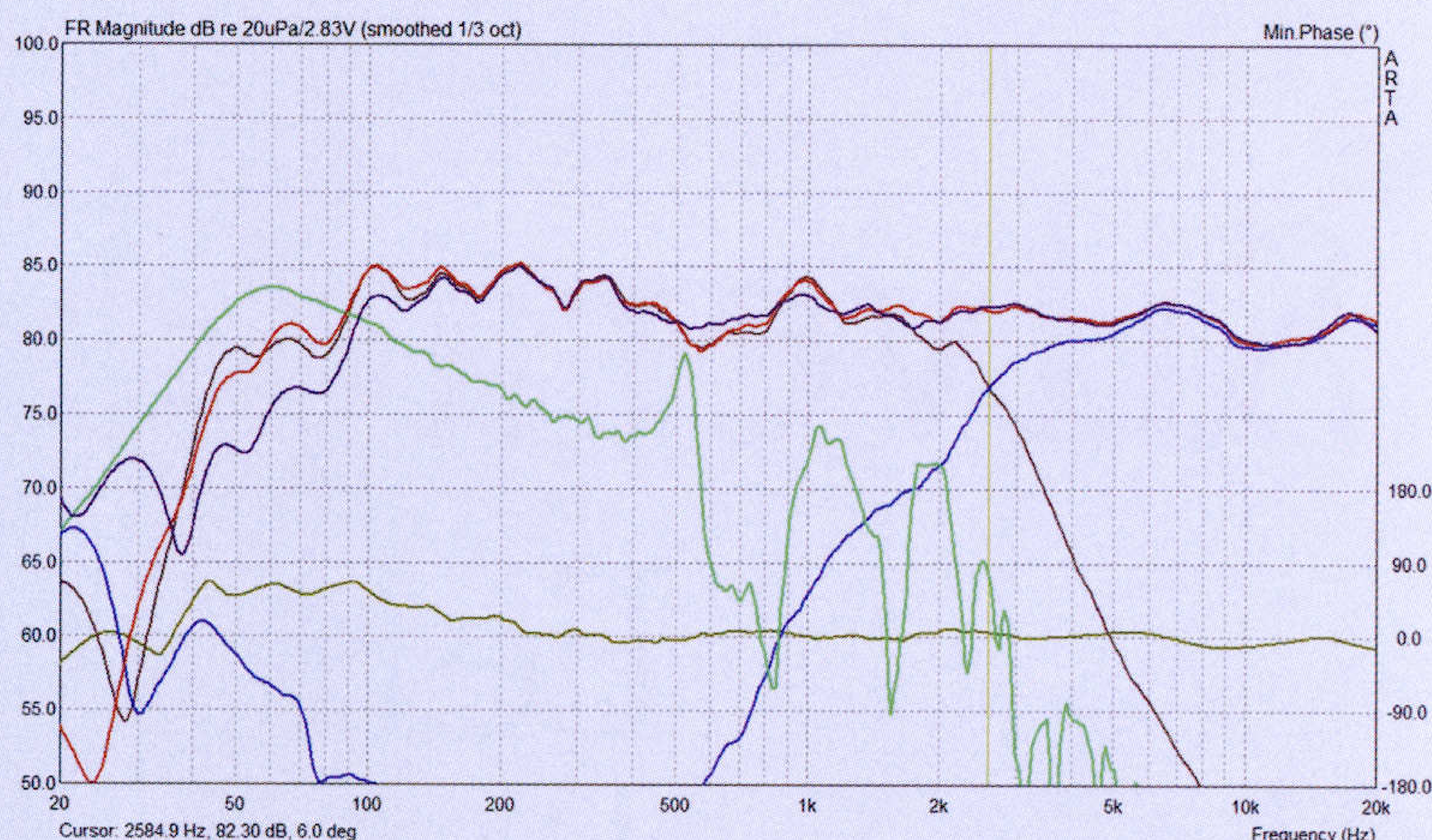
Figuur 2. Het filterschema.

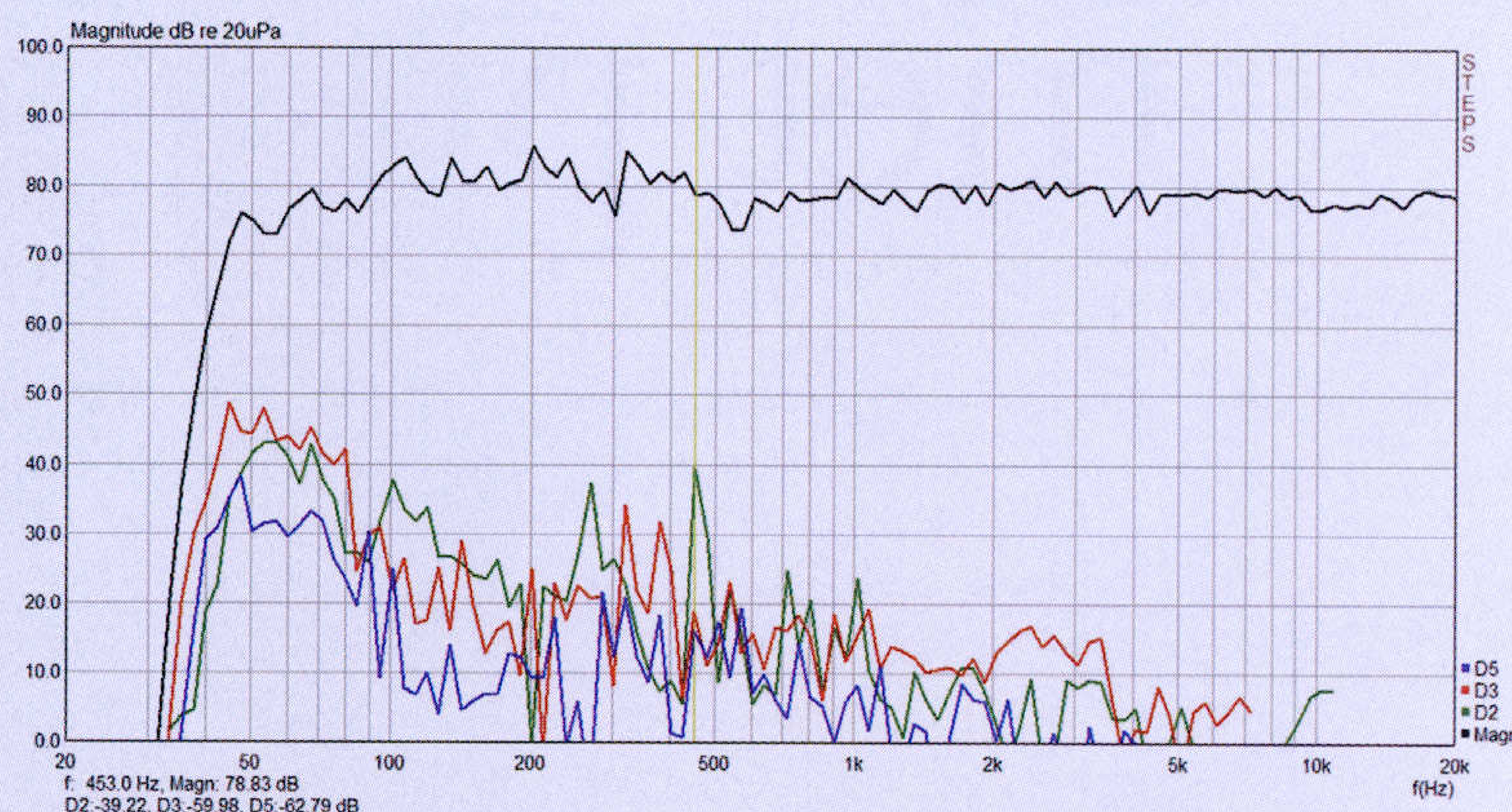
Luisteren en meten

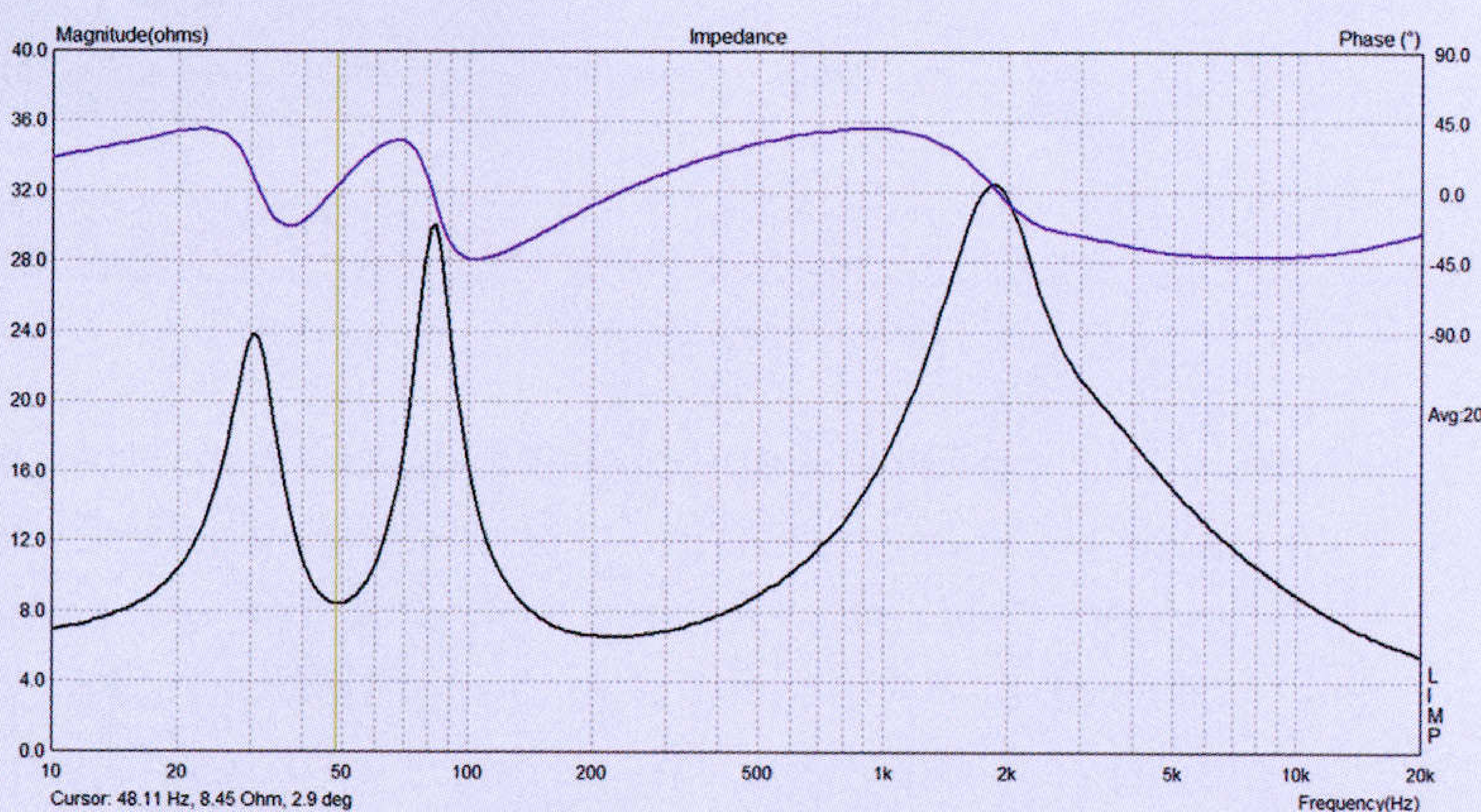
Geef deze kleintjes een aantal weken de tijd om in te spelen. Gedurende die tijd zal het laag strakker en dieper worden, het beeld ruimtelijker en het hoog verfijnder en meer doortekend. Deze luidsprekertjes verdienen te worden geplaatst op een paar stevige met zand gevulde standaards, waarbij de tweeter op oorhoogte zit. Wat dan als eerste opvalt is het diepe laag die deze audiofiele mini's weten te neer te zetten, het is echt verrassend hoe laag ze af en toe gaan. Verder is het laag vol met voldoende doortekening en sluit het mooi aan bij de rest van het spectrum. Dit spectrum loopt naadloos door tot een hoog dat heel transparant van karakter is, luchtig en precies zonder opdringerig te worden. Dingen als het ritselen van bekkens of het vegen van de snare drum met brushes komen heel realistisch over. De instrumenten staan los van elkaar in de ruimte met voldoende diepte om de zangeres voor de band te plaatsen waarbij haar stem duidelijk omlijnd in de ruimte staat. De HATT Special Edition MkII is een goede allround luidspreker voor kleine ruimtes die alle muziekstijlen neutraal weergeeft.

In de frequentiemetingen zien we een mooi constante frequentiecurve zonder gekke pieken of dalen, alleen de poort (licht groen) vertoont wat onregelmatigheden bovenin. Dit is heel normaal, alle poorten, rechthoekig of rond, hebben staande golven bij hogere frequentie's. Wat wel bijzonder fraai is, is hoe de poort werkt in het laag. Een bijna perfecte bult die vervolgens zeer gelijkmatig in amplitude afneemt. Ter controle hebben we ook gemeten met de poort dichtgestopt, dat levert de paarse curve op. Dan is te zien dat de dip bij 550 Hz en de piek bij 950 Hz vlakgetrokken worden. In geventileerde toestand is er dus enige inteferentie tussen de output van de woofer en die van de poort. Dit is overigens alleen bij de standaard meting op 1 m afstand zichtbaar. Op een luisterafstand van twee meter of meer verdwijnen deze onregelmatigheden, dus gehoormatig zijn ze nietvan invloed. Te verwachten van een kleine luidspreker is het lage rendement van rond de 82,5dB. Dit vraagt om een versterker met voldoende vermogen. Naast diverse frequentiemetingen hebben we de harmonische vervorming gemeten bij een ingangssignaal van 1 watt. In de curve zien we de tweede harmonische- (groen), derde harmonische- (rood) en vijfde harmonische-vervorming (blauw) ten op zichte van de frequentie-curve (zwart). De vervorming is over de gehele linie heel netjes, zeker gezien het lage rendement van deze luidsprekers. Er zijn alleen twee uitschieters van de 2e harmonische die veroorzaakt worden door de staande golven in de poort. Aangezien ons gehoor alleen oneven harmonischen als storend ervaart, zijn die twee piekjes te verwaarlozen.

De impedantiecurve geeft de poortafstemming weer bij 48 Hz. De totale impedantie komt nergens beneden de 6 ohm dus een echte stroomvreter is het niet. Ook zijn er geen oneffenheden te vinden in de curve die zouden kunnen duiden op staande golven of resonanties. Al met al een goed metend en klinkend luidsprekertje.







Naam:	HATT Special Edition MkII
Principe:	Tweeweg basreflex minimonitor
Ontwerp:	Humble Homemade Hifi, Tony Gee
Website: http://www.humblehomemadehifi.com	
Woofer:	Seas W12CY001
Tweeter:	Seas 27TBCD/GB-DXT (H1499)
Scheidingsfilter:	2600 Hz, 15dB/octaaf
Afmetingen:	310 x 169 x 235mm (hxbxd)
Netto inhoud:	5 liter
Belastbaarheid:	70 Watt
Prijs bouwkit:	€ 295,- per stuk (alle onderdelen behalve de kasten)

Figuur 3.
Frequentiecurve.

Figuur 4.
De vervormingsmeting.

Figuur 5.
Impedantiecurve.

Silverado

Een d'Appolito met pit



DOOR SANDER SASSEN

Alweer enige jaren luistert de auteur met veel plezier naar een compacte luidspreker voorzien van een driverbezetting volgens het d'Appolito concept. Alhoewel een dergelijk concept niet nieuw is zien we toch weinig zelfbouwluidsprekers die hiervan gebruik maken. In de regel zijn compacte luidsprekers voorzien van een tweetal drivers in een twee-weg configuratie.

Met de Silverado wilde de auteur een compacte luidspreker ontwerpen die niet zou misstaan in een modern interieur en die ook een eventuele echtgenote zou kunnen bekoren; grote kasten met flinke woofers zijn in dat geval meestal uit den boze. Als de lezer zich afvraagt waar de naam 'Silverado' vandaan komt, is dat eenvoudig te verklaren met het feit dat de luidspreker beschikt over twee 12 cm midwoofers voorzien van mat glimmende aluminium conus aangevuld met een 27 mm aluminium tweeter terwijl de kast is afgewerkt in RAL9006 aluminium kleur.

Driver keuze

Wat kleine midwoofers betreft met een voldoende lage resonantiefrequentie, een lichte conus en een lage Q in combinatie met een potent magneetsysteem voor de aandrijving is de spoeling dun. Zeker als prijs ook nog een belangrijke factor is en de auteur niet honderden euro's voor een set drivers wil uitgeven. Na wat zoekwerk kwam hij uit op de Seas L12-RCY/P, een 12 cm midwoofer met lichte (6.8 gram) aluminium conus met een lage Q (Qts=0.29) en voorzien van een krachtig magneetsysteem voor de aandrijving. Na een blik geworpen te hebben op de andere specificatie en de grafiek van de frequentie respons was duidelijk dat deze driver prima voldeed aan de gestelde eisen. In dit ontwerp worden twee van deze midwoofers toegepast in een d'Appolito configuratie.

Voor de tweeter was de keuze snel gemaakt, daar één tweeter al een aantal jaar prima resultaten laat zien en in veel ontwerpen van de auteur uitstekend tot z'n recht komt. Het betreft hier de Seas 27TBFC/G, een 27 mm dome-tweeter met aluminium conus en een voorbeeldige frequentie respons. Daarmee was de driver bezet-



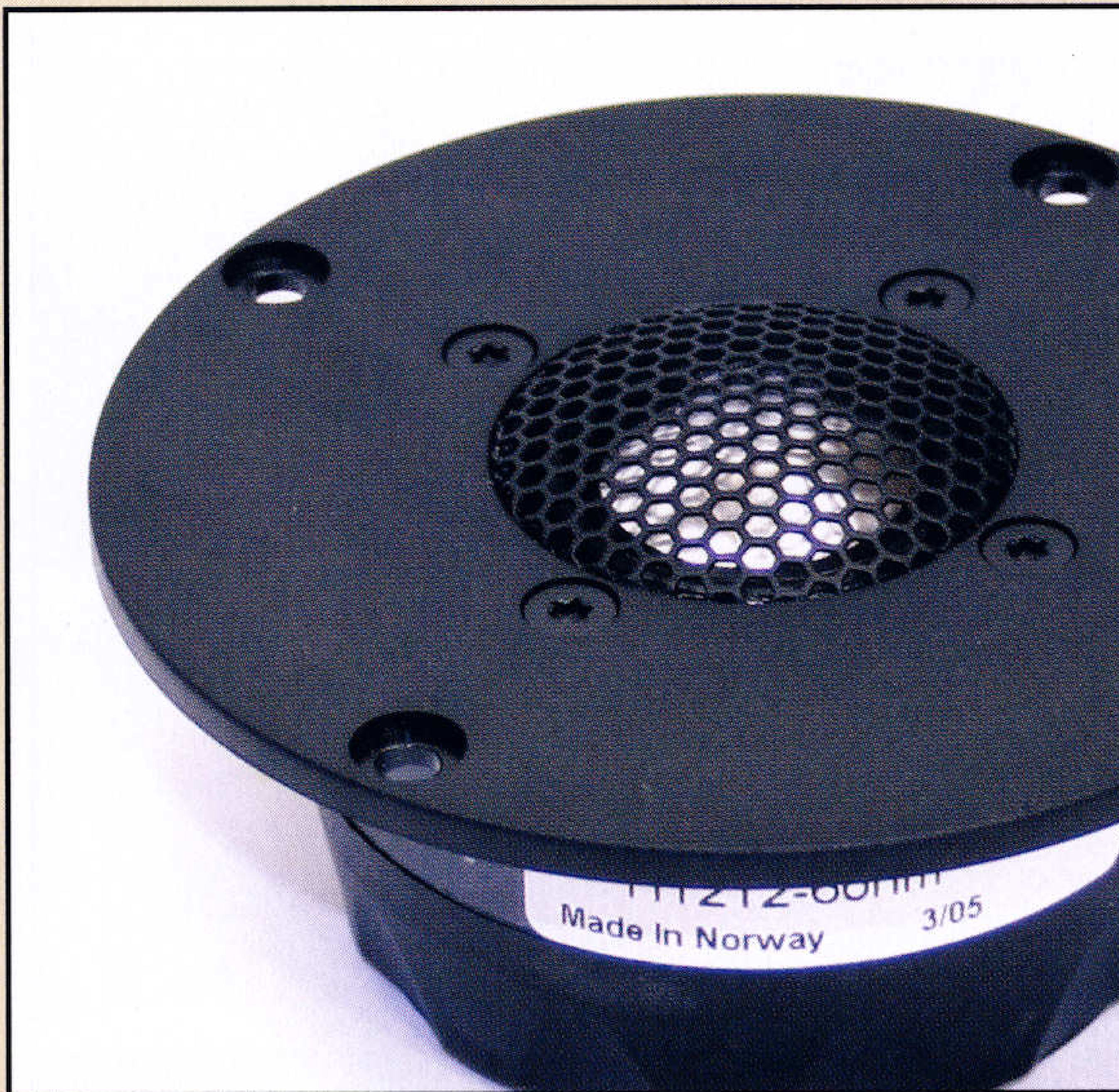


Foto 1.
De Seas L12-RCY/P, een 12 cm midwoofer met aluminium conus.

Foto 2.
De Seas 27TBFC/G, een 27 mm tweeter net aluminium conus.

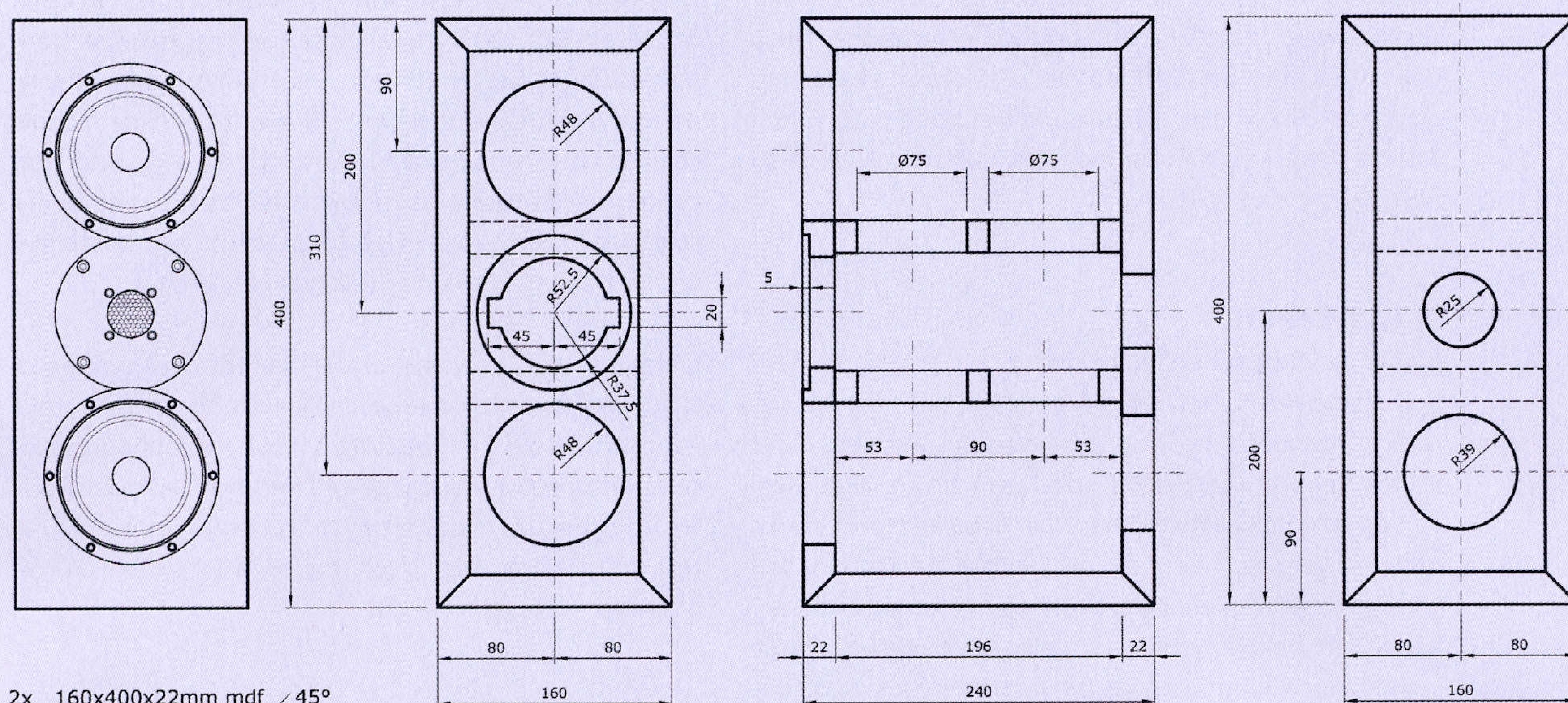
ting feitelijk rond en werd het hoog tijd om aan het simuleren en het meten te slaan met een eerste opzet voor dit ontwerp.

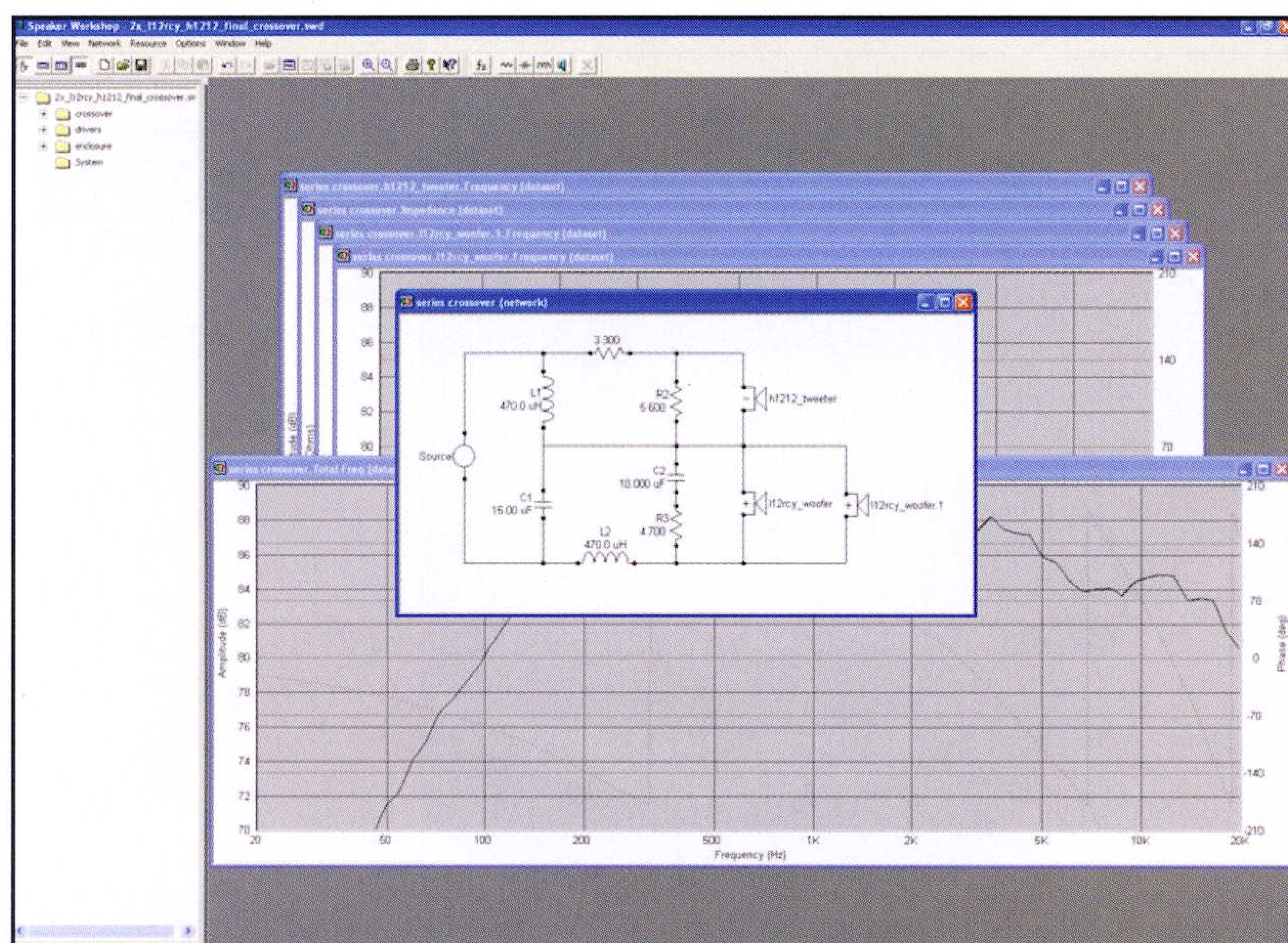
Kast ontwerp

Omdat we van een compacte luidspreker toch een acceptabele laagweergave verwachten komen we feitelijk niet om een bassreflex luidspreker heen. Ook in dit geval kiezen we voor een dergelijke configuratie zodat we ook in de lagere regionen van het audio spectrum voldoende rendement hebben. Zoals aangegeven wordt bij dit ontwerp een d'Appolito configuratie toegepast waarbij de tweeter tussen beide midwoofers is gemonteerd gezien langs de verticale as. Door het smalle front is er geen ruimte meer voor een bassreflex poort aan de voorkant, de bassreflex poort wordt dan ook aan de achterkant gemonteerd. De lengte van de bassreflex poort bedraagt 19 cm en is gemaakt van standaard grijs PVC pijp van 50 mm diameter. De bassreflex poort is aan de achterkant voorzien van een afronding.
De tweeter wordt verzonken gemonteerd zodat de frontplaat gelijk ligt met het front van de luidspreker. De verzonken montage van de tweeter heeft twee redenen; in de eerste plaats kunnen we zo de drivers dichter bij elkaar monteren, dit is een duidelijk voordeel in een d'Appolito configuratie, omdat interferentie tussen de drivers wordt verminderd. Ten tweede wordt de spreekspoel van de tweeter zo iets naar achteren verplaatst zodat de akoestische centra van de drivers meer op één lijn komen te liggen.

Figuur 1 laat de bouwtekening zie van de Silverado. Alle kastpanelen worden onder 45° verstek gezaagd zodat de luidspreker in elkaar gelijmd kan worden zonder zichtbare naden. Zodoende kunnen deze nimmer meer gaan werken en zichtbaar worden door de afwerking heen, zoals normaliter het geval is wanneer de kastpanelen niet onder verstek aan elkaar worden gelijmd. Duidelijk zichtbaar in de bouwtekening zijn ook de twee kastpanelen die in de kast worden gelijmd en voor extra stevigheid zorgen. Elk paneel is voorzien van twee gaten met circa 75 mm diameter. De lange zijden van het front van de luidspreker dienen afgerond te worden om diffractie op het front te verminderen.

Figuur 1.
De bouwtekening van de Silverado, alle maten in mm.





Figuur 2. **Een blik op de simulatie gebruikt voor het ontwerp van de Silverado.**

Filterontwerp

Het ontwerpen van een wisselfilter is altijd een uitdaging, zaak is namelijk om drivers en kast tot één geheel te smeden zonder teveel compromissen te hoeven maken. Zo is de keuze van de kantelpunten geen natte vinger werk, maar dient kritisch gekeken te worden naar het bruikbare frequentiebereik van de drivers zodat ze optimaal ingezet kunnen worden. Zaken als rendement, belastbaarheid, bundeling, vervorming en eventuele opbreekverschijnselen van de conus zijn zaken die daarbij allemaal een rol spelen. Bij dit ontwerp is na het meten van de (ingespeelde) individuele drivers eerst uitvoerig gesimuleerd, zodat gelijk al verkend kan worden waar de grenzen liggen. Figuur 2 geeft een indruk van de simulatiesoftware waarmee we dit ontwerp eerst op de computer gesimuleerd hebben.

Na flink wat iteraties en aanvullende metingen aan de drivers in de opgebouwde kast komt uiteindelijk het onderstaande filter zoals te zien in Figuur 3 als resultaat uit de bus. Er kan eventueel nog wel wat gespeeld worden met het rendement van de tweeter door R1 in waarde te verlagen of te verhogen zodat de hoogweergave aangepast kan worden aan de smaak van de luisteraar. Figuur 4 geeft de frequentie respons van de luidspreker weer met de meetmicrofoon gepositioneerd op één meter vanaf het front van de luidspreker, exact langs de as van de tweeter. De afval in het hoog is te wijten aan de beperking van de meetmicrofoon die vanaf 15 kHz begint af te vallen.

Luisteren

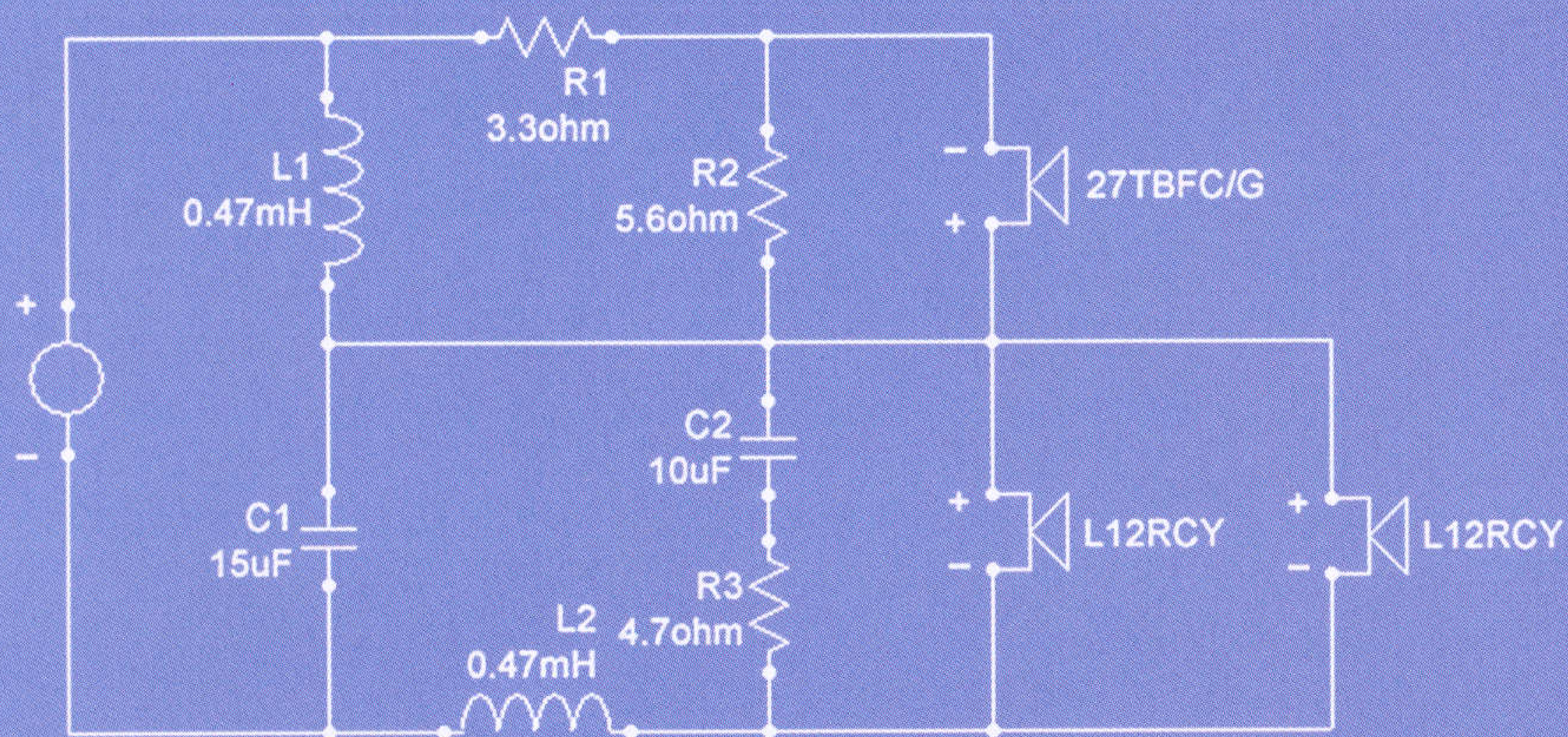
Nadat de luidsprekers enige dagen op laag volume hebben ingespeeld is het tijd om eens kritisch te gaat luisteren. Gewapend met een stapel van zijn favoriete CD's is de auteur er eens lekker voor gaan zitten. Wat meteen opvalt is de ruimtelijkheid van deze luidsprekers en de precisie waarmee zelfs de kleinste details worden weergegeven. Tekenend is ook hoe het karakter duidelijk wordt beïnvloed al naar gelang welke apparatuur wordt aangesloten, een buizenversterker klinkt duidelijk anders dan een klasse-D versterker. De keuze voor drivers met een krachtig magneetsysteem en een zeer lichte conus dragen hier zeker aan bij, omdat er geen tot weinig inwendige demping is van de conus en elke nuance in de muziek wordt weergegeven.

Ondanks het kleine formaat is de laagweergave indrukwekkend, niet in de laatste plaats door de stijve aluminium conus die feitelijk een pure zuigerwerking bewerkstelligt in de lage regionen. Als de Silverado's worden opgesteld vrij in de ruimte op een paar stevige standaards is het laag lichtvoetig maar zeker gedetailleerd en met voldoende diepgang. Bij een opstelling dichter naar de achterwand is duidelijk dat de aan de achterkant gemonteerde bassreflex poort winst boekt in de lagere regionen, zelfs een stevige baspartij of een bassdrum wordt nu met veel autoriteit weergegeven.

De auteur was dusdanig onder de indruk van de prestaties van deze kleine geweldenaar dat hij nog drie stuks gebouwd heeft en zodoende z'n 5.1 surround installatie heeft opgebouwd, aangevuld met een flinke subwoofer voor het allerlaagste laag. Naar deze installatie luistert de auteur al enige jaren met erg veel plezier en voldoening.

Auteursrecht

Naam:	Silverado
Principe:	Tweeweg bassreflex d'Appolito
Ontwerp:	Sander Sassen
Midwoofer:	Seas L12-RCY/P (H1207)
Tweeter:	Seas 27TBFC/G (H1212)
Scheidingsfilter:	2000Hz, 12dB/octaaf
Afmetingen:	400 x 160 x 240 mm (hxbxd)
Netto inhoud:	9 liter
Belastbaarheid:	70 Watt
Prijs bouwkit:	Circa € 300,- per stuk (alle onderdelen behalve de kasten)



L1, L2 = 0.47mH, 1.4mm OFC
C1 = 15uF MKP 5%
C2 = 10uF MKP 5%
R1 = 3.3ohm, 4-watt MOX
R2 = 5.6ohm, 4-watt MOX
R3 = 4.7ohm, 4-watt MOX

Onderdelen lijst wisselfilter

L1/L2 (2) = 0.47 mH, 1.4 mm OFC luchtspoel
C1 (1) = 15 uF, MKP, 5%
C2 (1) = 10 uF, MKP, 5%
R1 (1) = 3.3 , 5 W, MOX
R2 (1) = 5.6 , 5 W, MOX
R3 (1) = 4.7 , 5 W, MOX

Figuur 3.
Het uiteindelijke filter-schema van de Silverado.



Figuur 4.
De gemeten frequentie respons van de Silverado.

Nebular Monitor

Een compacte luidspreker met een groots geluid

DOOR TONY GEE

Op de website van Humble Homemade Hifi is een veelvoud aan boekenplank luidsprekers te vinden, micro-monitors gebaseerd op kleine twaalf centimeter woofertjes en grotere exemplaren die woofers van pakweg achttien centimeter diameter als basis hebben. Een tussenmaat is tot nu toe achterwege gebleven. De Nebular Monitor met zijn vijftien centimeter woofer brengt daar nu verandering in. Achterop de kast krijgt hij nog wat extra ondersteuning van een tweetal passieve membranen.

De woofer

De L16RNX (H1488-04) woofer in de Nebular Monitor is een knap stukje techniek. De ontwerpers van Seas uit Noorwegen hebben een aluminium konus die bijna net zo groot is als die van een 18 cm type, weten te persen in een korf met een diameter van 146 mm. Deze conus is met de korf verbonden door middel van een dikke rubberen ophanging die een lineaire uitslag van 12 mm piek-piek mogelijk maakt en een maximale fysieke uitslag van 22 mm voordat de spreekspoel de achterste poolplaat raakt. Het enige nadeel van deze grote conus/kleine korf constructie is dat er maar weinig ruimte overblijft om het frame op de behuizing te monteren. Enige nauwkeurigheid is dus geboden bij het maken van de uitsparingen in de kast, anders grijpen de zes bevestigingsschroeven mis. Verder zien we een relatief grote aluminium stofkap die de, voor deze grootte luidspreker, enorme spreekspoel van 39 mm doorsnede afdekt. Aan de achterkant vinden we een flinke magneet met een doorsnede van 10 cm. Aangezien de inbouwopening van deze woofer 126 mm bedraagt is het afronden van de sparing aan de binnenzijde van de kast een vereiste. Doe je dat niet, dan treden er compressie verschijnselen en geruis op omdat de woofer onvoldoende ruimte heeft om naar achteren te kunnen "ademen". Al deze onderdelen worden op hun plek gehouden door een stijve, licht metaal gegoten korf die aan alle kanten is voorzien van de nodige ventilatie mogelijkheden. De spreekspoel met een impedantie van vier ohm is zichtbaar door de openingen tussen de achterste ophanging en de voorste poolplaat. Ook de poolkern is aan de achterkant geventileerd om compressie binnen het aandrijfsysteem tegen te gaan.

De tweeter

De Seas 27TBCD/GB-DXT (H1499) tweeter maakt gebruik van het, in de PA-wereld heel gebruikelijk maar in de hifi-wereld zelden toegepast, Constant Directivity principe. Het doel hiervan is om ook buiten de luisteras een frequentiecurve te bereiken die gelijk is aan die



Foto 2.
De passief membranen.

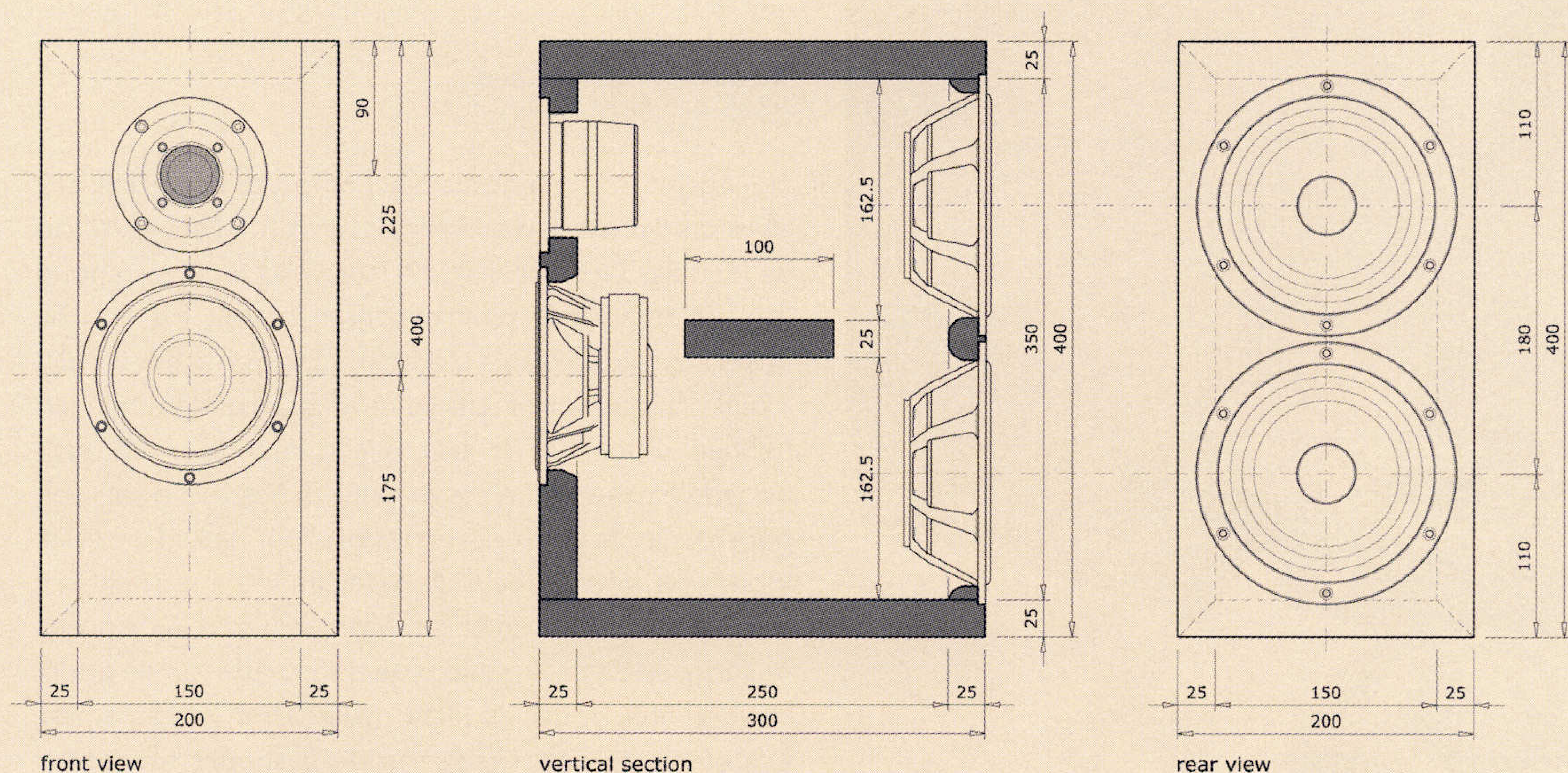
op de as, alleen neemt uiteraard de geluidsdruk buiten deze as steeds meer af naar mate de hoek groter wordt. Het grote voordeel hiervan is dat het afstraalgedrag van de luidspreker buiten de as constanter is, mede omdat diffractie op de kastranden geminimaliseerd wordt. Er ontstaat dus een gelijkmatigere spreiding van hoge tonen energie in de luisterruimte wat een stabielere ruimtelijkheid tot gevolg heeft. Om deze "Constante Directiviteit" te bereiken heeft deze tweeter een soort hoorn, ook wel "Wave-Guide" genoemd, gekregen. Deze korte trechter concentreert de energie in het lage bereik van de tweeter en laat het hoge bereik ongehinderd door. Dit heeft tot gevolg dat de energie die bij een gewone tweeter opzij wordt afgegeven en diffractie problemen zou veroorzaken (afhankelijk van de kast breedte meestal tussen de 2 kHz tot 4 kHz), veel minder aanwezig is. Deze concentratie van de energie op de as geeft de tweeter een verloop dat met afnemende frequentie een toenemend rendement vertoont. Een vereiste voor een optimale werking van de hoorn is dat het verloop van de hoorn zo glad mogelijk is. Bij deze Seas tweeter vormen de bevestigingspunten van de tweeter op de frontplaat (net naast het rooster) kleine oneffenheden die rond de 10 kHz onregelmatigheden in de output veroorzaken. Het afdekken van deze oneffenheden door een klein stukje schuimrubber of iets dergeljks verhelpt dit probleem - meer hierover verderop in dit artikel. Het hoorbare resultaat is dat als de schroeven worden afgedekt, het beeld minder "nerveus" wordt. Een ander voordeel van de hoorn is dat hij eindigt met een oppervlakte die veel beter aansluit bij die van de woofer wat ook weer een homogeen afstraalgedrag bevordert.

De passieve membranen

De meeste compact-luidsprekers zijn voorzien van een basreflexpoort ter ondersteuning van de onderste octaven, een goedkoop en effectief middel om een diepere laagweergave te bereiken, maar wel met een aantal nadelen. Met name als een compacte behuizing laag afgestemd dient te worden gaat het mis. In het geval van de Nebular Monitor met zijn lange-slag woofer, inhoud van 12 liter en afstemfrequentie van 42 Hz zou bij hogere geluidsniveau's sterke poortruis het gevolg zijn - zelfs trompet-poorten die mooi afgeronde uiteinden hebben. Poortruis is niet alleen meetbaar als verhoogde harmonische vervorming in het laag maar ook hoorbaar in de vorm van een soort "pof" geluid die gelijk loopt met bijvoorbeeld de basdrum in de muziek. Erg storend dus. Eén manier om deze verliezen in de poort te verminderen zou zijn om de doorsnede van de poort te vergroten zodat de lucht makkelijker kan stromen. Echter als de doorsnede van de baspoort toeneemt, wordt de lengte van de poort evenredig groter. In een van de eerste prototypes van de Nebular hebben we een standaard trompetpoort gebruikt die nog mooi in de kast paste. Deze had een doorsnede van 39 mm, oppervlakte van circa 12 cm^2 en een lengte van 139 mm. Dit gaf helaas veel poortruis en een laagweergave die wat achter bleef bij de rest van de muziek. Het vergroten van de poort naar eentje met een doorsnede van 70 mm (opp. 38,5 cm^2) zou dit probleem iets verhelpen, maar dan zou de poort een lengte moeten hebben van 490 mm. Erg onpraktisch dus en bovendien treden in zulke lange poorten staande golven op die precies in het middengebied vallen en dus nog meer kleuring tot gevolg hebben.

De oplossing hiervoor is een passief membraan. Dat is eigenlijk niet meer dan een woofer zonder spreekspoel en magneetsysteem. Een passief membraan is een massa-veer-systeem en functioneert op dezelfde manier als een basreflexpoort met de uitzondering dat een PR een frequentie kent waarbij hij (bijna) geen energie afstraalt. Zolang deze frequentie beneden het bereik van de luidspreker ligt zijn er geen beperkingen. In het geval van de Nebular Monitor is dat circa 16 Hz. Naast het eerder genoemde voordeel dat een PR geen ruis en staande golven kent is een niet te onderschatten eigenschap de enorme toename van het stralend oppervlakte in het laag. Bij deze luidspreker zijn twee PR's per kast gebruikt, dat is een oppervlakte van 260 cm^2 per kast - vergelijk dat maar eens met een standaard basreflexpoort!

Niet elke passief membraan is geschikt voor gebruik in een twee-weg luidspreker. Stug opgehangen exemplaren die je vaak tegenkomt in subwoofers zijn uit den boze. Dit type passief membraan heeft namelijk hoge mechanische verliezen, de actieve woofer moet als het ware door deze weerstand "heen drukken" en zulke luidsprekers komen derhalve pas tot leven als een de boel lekker hard staat te spelen. Een goede een hifi-luidspreker moet ook op lagere geluidsvolumes voldoende diepgang en laag definitie bieden dus dat vraagt om soepel opgehangen passieve membranen met een lage mechanische weerstand. De hier toegepaste Seas SP18R (H9944) met een compliantie Cms van 1,74 mm/N is zo



Figuur 1. De bouwtekening van de Nebular Monitor.

een exemplaar. Om de juiste afstemfrequentie van circa 42 Hz te bereiken is wat extra massa nodig. Op de achterzijde van de passieve radiator bevindt zich een metalen plaatje met een stukje schroefdraad en een moertje. De juiste afstemming wordt bereikt door het toevoegen van een roestvrijstalen M16 moer en een M6 carrosserie ring (zie foto).

De behuizing

Bij al dit moois hoort natuurlijk een degelijke behuizing. De buitenafmetingen van de kast worden eigenlijk bepaald door de twee passieve radiatoren achterop. De hoogte en de breedte van de kast zijn namelijk zo gekozen dat de twee membranen de gehele achterwand vullen. Er is zelfs zo weinig vrije ruimte over op de achterkant, dat de poolklemmen in de uiterste hoeken moesten worden geplaatst. Uit deze breedte en hoogte resulteert een bepaalde diepte om de benodigde 12 liter netto inhoud te verkrijgen. Aan de voorzijde van de kast zien we twee verticale afschuiningen om de kast visueel nog slanker te laten lijken, verder zijn alle drivers verzonken gemonteerd.

De behuizingen zijn gemaakt van 25 mm MDF dat is afgewerkt met zwarte hamerslag lak dat normaal gesproken wordt toegepast op metaal. Op het MDF geeft het een hoogglans afwerking met een grove "sinaasappel" structuur. Op de bouwtekening is te zien hoe een en ander in elkaar zit waarbij een belangrijke detail niet over het hoofd mag worden gezien. Zoals eerder vermeld, is de binnenzijde van de opening voor de woofer rondom voorzien van een afschuining om ervoor te zorgen dat de woofer aan de achterzijde optimaal kan "ademen". Deze afschuining kan het beste gemaakt worden voordat de kast in elkaar wordt gezet. Verder zien we een verstevingsschot dat in midden van de behuizing is geplaatst.

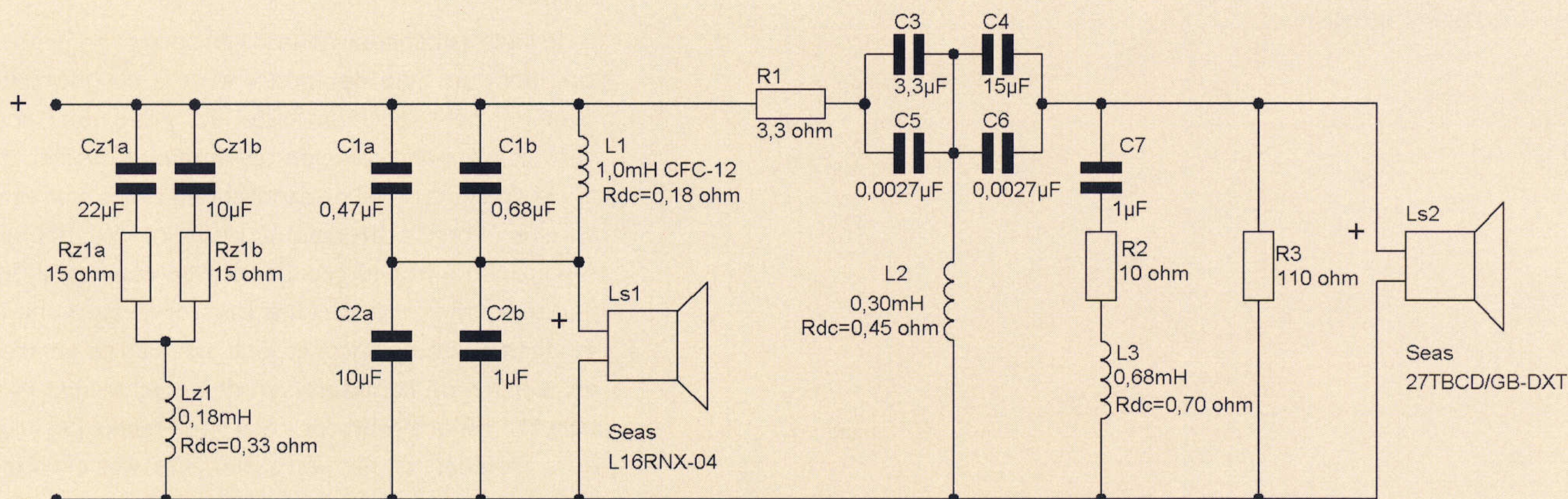
De demping van de kast bestaat uit het bekleden van alle binnenwanden, op het frontpaneel en de achterwand na, met Intertechnik Bitumex FG4 loodbitumen met een dikte van 4 mm en Intertechnik Damping-10 dempingsmateriaal met een dikte van 10 mm. Beide materialen zijn zelfklevend. Verder blijft de kast van binnen helemaal leeg, dit is bewust gedaan om zo efficiënt mogelijk gebruik te kunnen maken van de energie die door de radiatoren aan de achterzijde wordt uitgestraald. Tevens komt het de dynamiek ten goede omdat de kwaliteitsfactor Qmc van de woofer / kastcombinatie niet onnodig wordt verlaagd.

Het filter

De gekozen drivers van de Nebular Monitor zijn niet de makkelijkste om te filteren. De aluminium woofer vertoont flinke opbreekverschijnselen bovenin en de tweeter heeft ook zo zijn eigenaardigheden. Het filter vereist dus enige correctienetwerken om tot een gehoormatig neutraal en meetbaar vlak eindresultaat te komen. De basis voor dit parallel filter wordt gevormd door een tweede-orde laagdoorlaat filter op de woofer en een derde-orde hoogdoorlaat filter op de tweeter.

Laten we bij de woofer beginnen, hier zien we de condensatoren C1a en C1b. Deze vormen samen met spoel L1 een resonantiekring die is afgestemd op het opbreekpunt van de woofer bij circa 5 kHz. Spoel L1 werkt tevens als laagdoorlaat samen met de condensatoren C2a en C2b. Heel belangrijk voor een maximaal rendement en een goede doortekening van het laag is dat spoel L1 een zo laag mogelijke gelijkstroomweerstand heeft. Hier is gekozen voor een luchtspoel met een Rdc van slechts 0,18 ohm. Op de kwaliteit is niet bezuinigd en daarom treffen we hier een 12AWG koperfoliespoel aan.

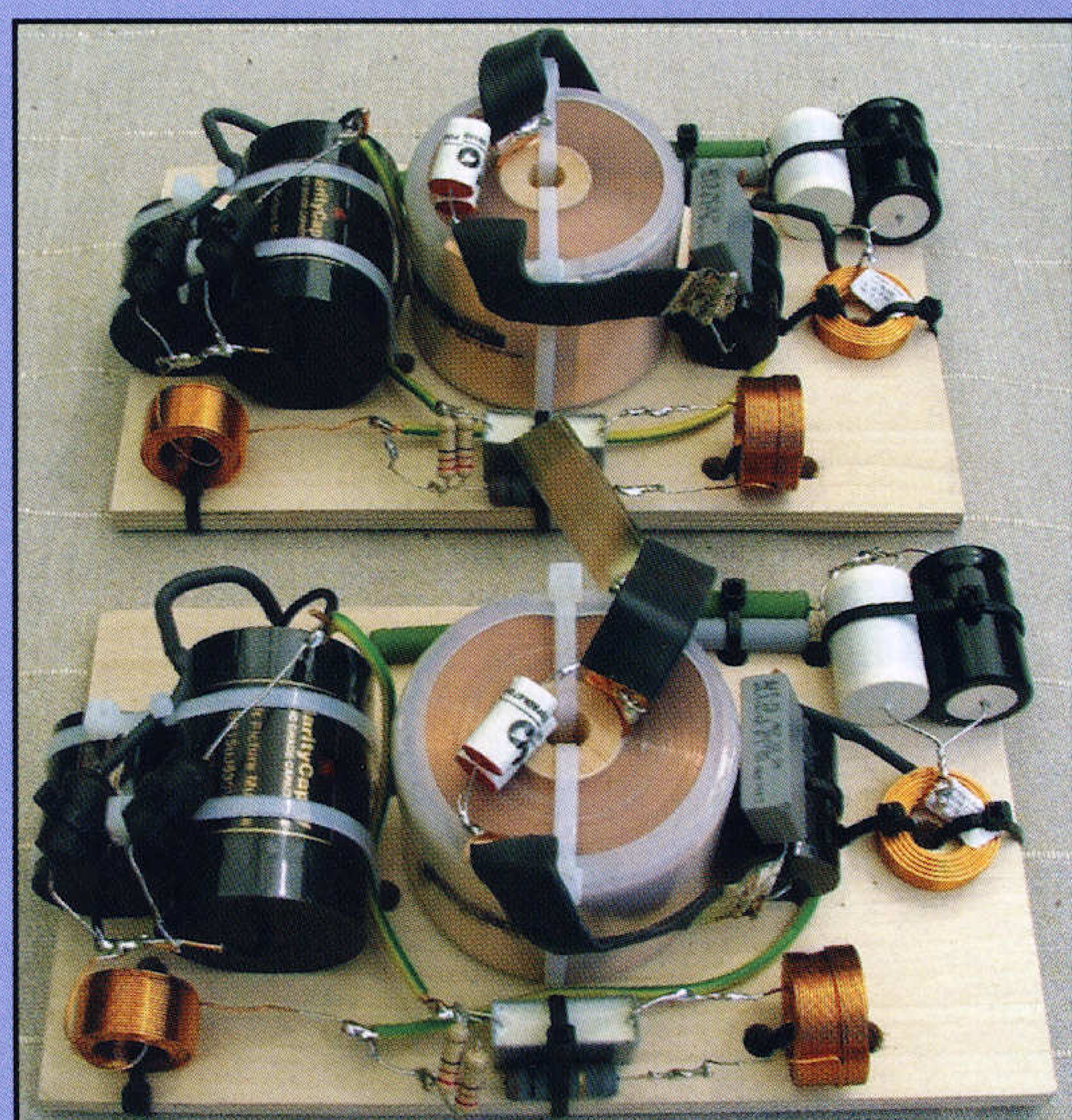
Gaan we naar de tweeter, dan zien we iets meer componenten. Als eerste weerstand R1 die het niveau van de tweeter terugbrengt op dat van de woofer. Deze weerstand wordt gevolg door een derde-orde hoogdoorlaat bestaande uit C3 + C4 + L2. Beide condensa-



Figuur 2.
Het filterschema van de Nebular Monitor.

toren zitten in de directe signaalweg van de tweeter en zijn dus erg bepalend voor het uiteindelijke karakter van het hoog. Om de totale kosten niet al te hoog te laten oplopen is gekozen voor een goede standaard kwaliteit in de vorm van Clarity Cap SA condensatoren. Deze hebben weliswaar een iets afgerond karakter helemaal bovenin maar dat is gecompenseerd door ze te overbruggen met hele kleine polystyreen condensatoren met een waarde van 2700 pF. Hierdoor krijgt het hoog net even meer "pit" en klinkt het subjectief "sneller". Spoel L2 is een luchtspoel met 0,70 mm draad, wel zijn de wikkelingen vacuüm geïmpregneerd om microfonie tegen te gaan. Verder is de waarde met 0,30mH niet gebruikelijk. Deze waarde kan worden verkregen door een spoel van 0,33 mH af te wikkelen tot de juiste waarde van 0,30 mH. Een aardige bijkomstigheid hiervan is dat het dan mogelijk is beide spoelen binnen 1% tolerantie met elkaar te matchen. De volgende tak is een LCR-netwerk parallel aan de tweeter. Deze trekt een bult in de output van de tweeter mooi vlak, zonder dit netwerkje zou het octaaf van 4 kHz tot 8 kHz circa 3dB te hard zijn en zou de luidspreker vrij scherp klinken. Ook hier weer filtercomponenten van een nette kwaliteit, een MKP voor de condensator, een vacuüm geïmpregneerde luchtspoel en een MOX weerstand. Als laatste nog een weerstand direct parallel over de tweeter die het niveau van hoog nog een tikje afzwakt. Deze afzwakking is zeer gering en zal afhankelijk van de rest van de set gebruikt kunnen worden om het tweeter niveau te fine-tunen. In onze opstelling bleken twee koolfilmweerstanden van 220 ohm / 2 watt het laatste puntje op de "i" te zetten.

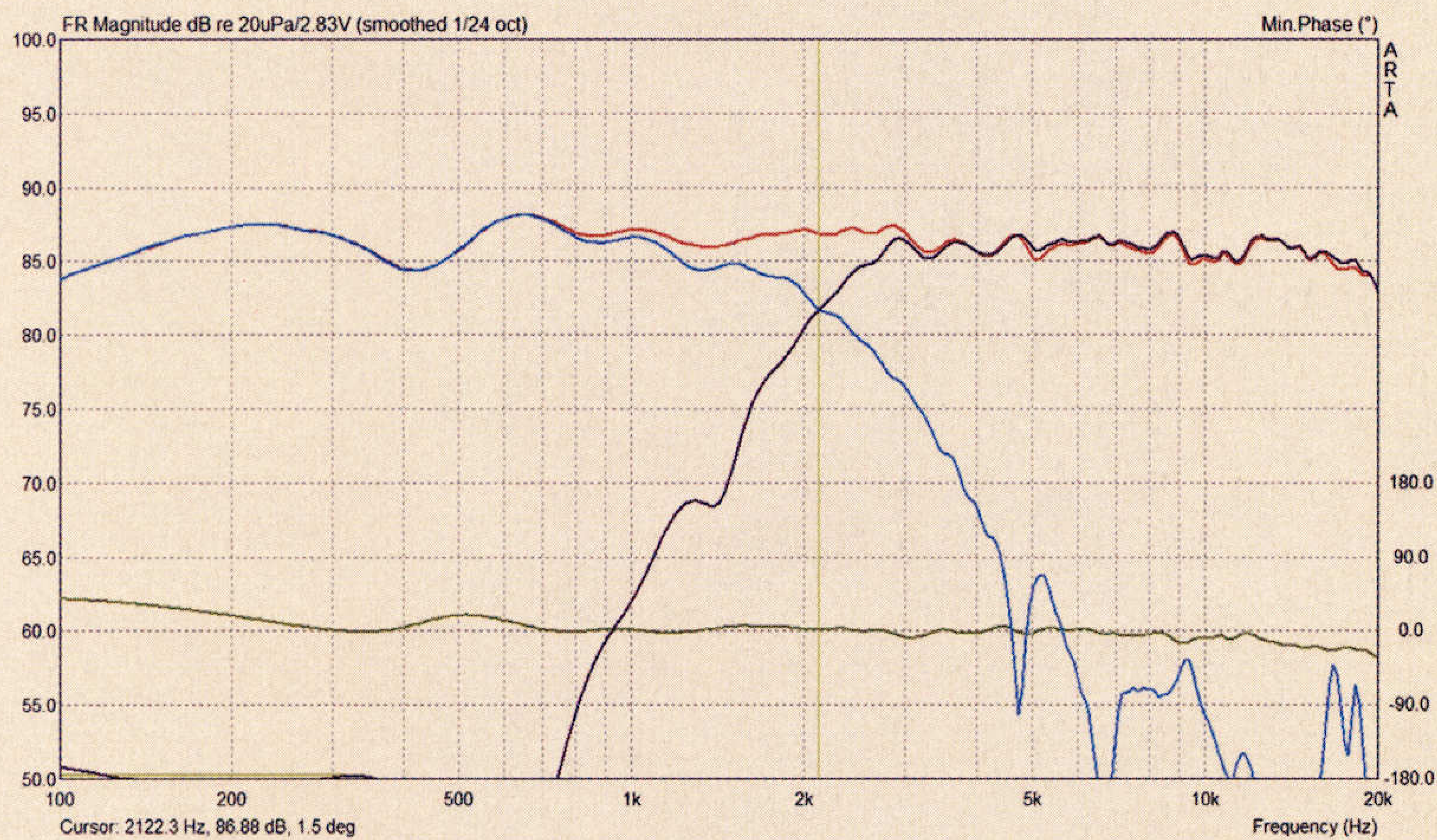
Optioneel is nog de combinatie Cz1 / Rz1 / Lz1. Deze dient om de impedantie piek van de luidspreker bij 2100 Hz vlak te trekken zodat een bijna ohmse belasting van circa 5 ohm ontstaat. Met name buizenversterkers vinden dit prettig en belonen de luisteraar met meer openheid in het middengebied.

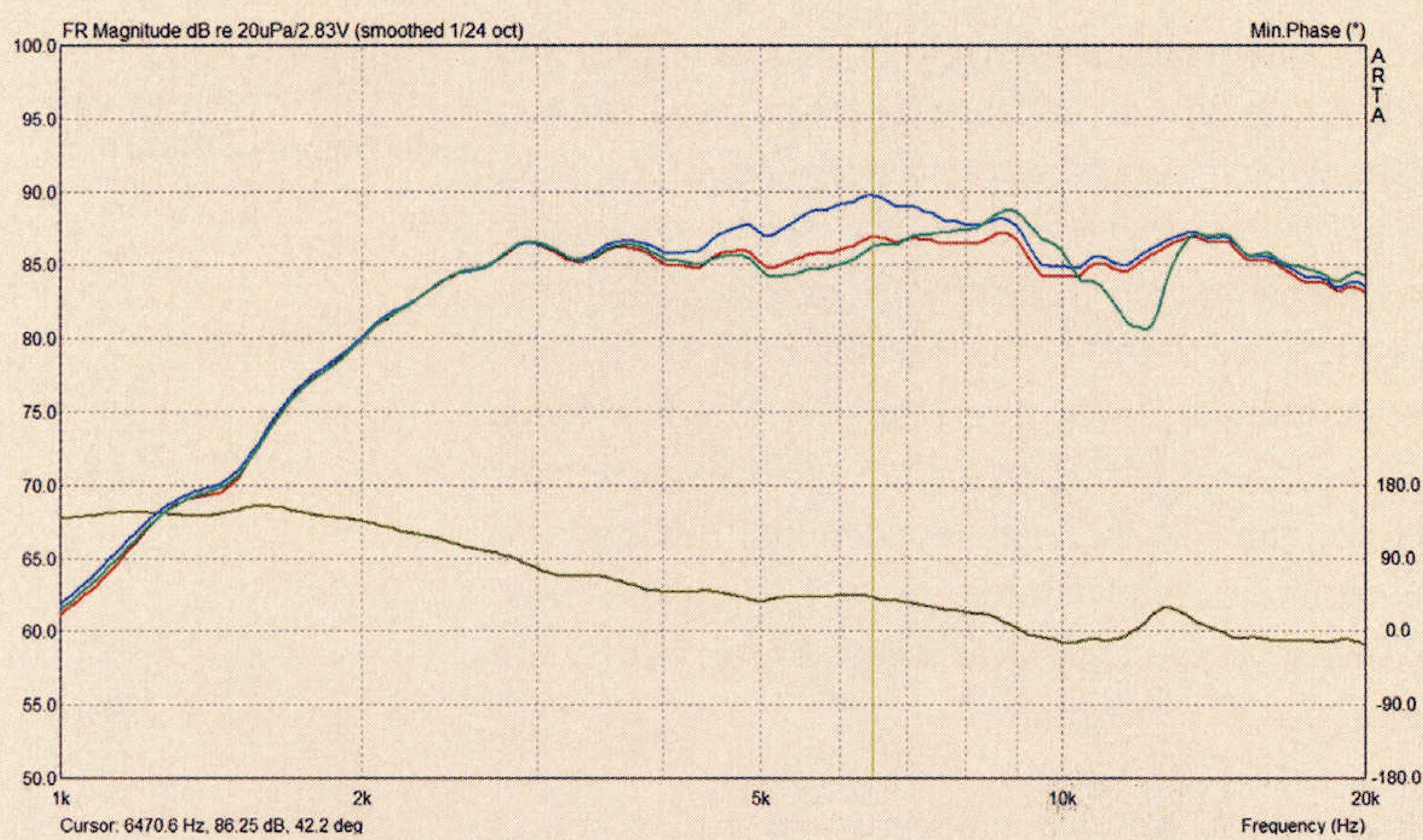


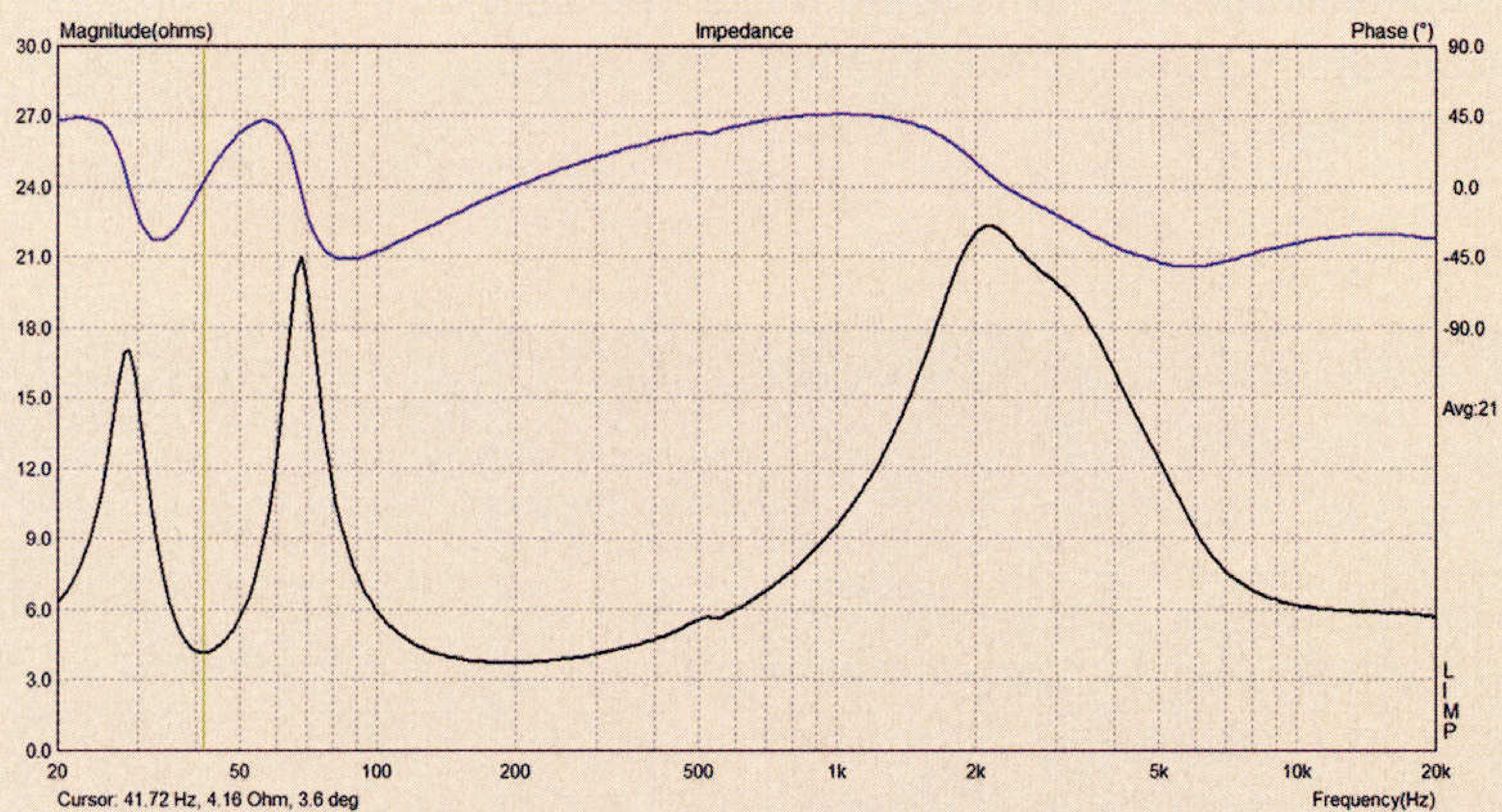
Nog één tip bij het inbouwen van de filters: deze nemen de gehele bodem van de luidspreker in beslag dus let er op dat de componenten zo geordend zijn dat er genoeg ruimte overblijft om de passieve radiatoren te monteren.

Foto 3.
Beide filters in opgebouwde vorm.

L1 = 1,00 mH koperfoliespoel 12AWG; Rdc = 0,18 ohm
L2 = 0,30 mH luchtspoel 0,70mm draad; Rdc = 0,45 ohm
L3 = 0,68 mH luchtspoel 0,70mm draad; Rdc = 0,70 ohm
Lz1 = 0,18 mH luchtspoel 0,70mm draad; Rdc = 0,33 ohm
C1a = 0,47 uF standaard kwaliteit MKP
C1b = 0,68 uF standaard kwaliteit MKP
C2a = 10 uF standaard kwaliteit MKP
C2b = 1,0 uF standaard kwaliteit MKP
C3 = 3,3 uF Clarity Cap SA 630VDC
C4 = 15 uF Clarity Cap SA 630VDC
C5 = 2700 pF Styroflex 500VDC
C6 = 2700 pF Styroflex 500VDC
C7 = 1,0 uF standaard kwaliteit MKP
Cz1a = 22 uF bipolaire elco met gladde folie
Cz1b = 10 uF standaard kwaliteit MKP
R1 = 3,3 ohm / 10 watt MOX
R2 = 10 ohm / 10 watt MOX
R3 = 110 ohm / 4 watt koolfilm (2x 220 ohm / 2 watt parallel)
Rz1a = 15 ohm / 10 watt MOX
Rz1b = 15 ohm / 10 watt MOX







Figuur 3. Frequentiecurve.

Figuur 4. Frequentiecurve van de tweeter apart.

Figuur 5. Impedantiecurve.

Luisteren en meten

Voordat we ingaan op de metingen gaan we eerst eens luisteren. Vrij opgesteld op een paar stevige standaards, waarbij het punt tussen de woofer en de tweeter zich op oorhoogte bevindt, zetten deze luidsprekers een groots beeld neer. Als je je ogen sluit heb je het gevoel naar veel grotere speakers te luisteren doordat het laag veel dieper gaat dan je zou verwachten, bovendien bezit het laag een zekere "punch" en gewicht. De Nebular Monitor klinkt hierdoor heel volwassen. Het overall karakter van de luidspreker laat zich omschrijven als een mooie balans tussen warmte en detail. Aan de ene kant is de luidspreker zeer neutraal en springt er, in positieve zin, niets uit. Aan de andere kant is de doortekening over het hele spectrum bijzonder goed, deze speaker verhult niets en maakt de opname niet mooier dan hij is. Hij vraagt dus wel de aandacht en is dus niet een luidspreker voor achtergrond muziek. We hebben de Nebular Monitor uitgeprobeerd op een aantal buizenversterkers en een aantal transistorversterkers, in alle gevallen paste de speaker zich aan aan de versterkers en werden de karakters van de verschillende versterkers ten gehore gebracht - een goed teken. De luidsprekers groeiden als het ware met alles wat ervoor hing. Naast buizenversterkers van een paar honderd euro, hebben we ze zelfs een keer aangestuurd door een geïntegreerde versterker van ruim vijfduizend euro, de Nebular Monitor had er duidelijk plezier in en kon moeilijk afscheid nemen van zijn nieuwe partner!

De metingen met ons systeem leverden een mooi vlakke frequentiecurve op, met een rendement van circa 87dB voor 2,83 V op 1 m afstand. Het kritische middengebied en het hoog blijven binnen +/- 1dB wat ook terug te zien is in de akoestische fase die bijna door een liniaal lijkt te zijn getekend! De tweeter hebben we ook apart weergegeven om te zien wat het correctienetwerk doet. De rode curve is de tweeter na alle filtering; de blauwe curve is hetzelfde echter zonder netwerk C7+R2+L3; de groene curve geeft tenslotte aan wat er gebeurt als de bevestigingsschroeven vlakbij het rooster niet worden weggewerkt. Te zien is dat er dan onder de 10 kHz een piek ontstaat en daarboven een dip. Met het schuimrubber over de schroeven wordt de boel een stuk vlakker.

Bij de impedantie curve zijn goed te zien de twee pieken in het laag, die worden veroorzaakt door kastafstemming rond circa 42Hz. De impedantie heeft een minimum van 4 ohm bij 200Hz en de elektrische fase blijft binnen +/- 45 graden; geen probleem voor de meeste versterkers.

Naam:	Nebular Monitor
Principe:	Tweeweg-systeem met dubbele passieve membranen
Ontwerp:	Humble Homemade Hifi, Tony Gee
Website:	http://www.humblehomemadehifi.com
Woofer:	Seas L16RNX (H1488-04)
Tweeter:	Seas 27TBCD/GB-DXT (H1499)
Passief membraan:	Seas SP18R (H9944) met 35 gram extra massa
Scheidingsfilter:	2100Hz, 12+18dB/octaaf
Afmetingen:	400 x 200 x 300 mm (hxbxd)
Netto inhoud:	12 liter
Belastbaarheid:	80 Watt
Prijs bouwkit:	circa € 250,- per stuk (alles behalve de behuizing)

LVBS

zelfbouwklassieker van eigen bodem

DOOR HENKJAN OLTHUIS EN EDO VAN DER LAARSE

Ook de luidspreker zelfbouw kent zo haar klassiekers; de Rogers Monitor, de Reference Monitor, de Hatt, de Needle om er maar een paar te noemen. Recentelijk is er een ontwerp bijgekomen dat hard op weg is om ook zo'n klassieker te worden: de low budget 2-weg vloerstaander of afgekort LBVS, ontworpen door Edo van der Laarse. Dit ontwerp combineert een stel laag geprijsde drivers, een gemakkelijk na te bouwen kastontwerp en een eenvoudig wisselfilter tot een hoge kwaliteit luidspreker.

Goed kan ook goedkoop

Het verhaal achter het ontstaan van de LBVS is eigenlijk heel simpel. Edo was in 2008 op een verjaardag en kwam daar in gesprek met een student (de zoon van een vriend). Ze raken aan de praat over luidsprekers en al snel komen ze tot de conclusie dat veel van de gangbare ontwerpen veel te duur zijn voor een student. Met dit idee ging Edo wat zitten broeden en besloot de handschoen op te pakken en een ontwerp te bedenken (en te bouwen) dat simpel, goedkoop en makkelijk na te bouwen zou zijn. Ook voor de afwerking liet Edo zien dat het niet altijd wortelnotenfineer hoeft te zijn voor een klassiek uiterlijk.

Nadat op een luisterdag van het zelfbouw audio forum veel mensen hadden kunnen horen hoe goed deze vloerstaander klonk, gingen al snel veel zelfbouwers met dit ontwerp aan de slag. Vaak in de geest van het origineel, dus low budget, maar soms ook uitgevoerd in massief hout of voorzien van duur fineer.

De drivers

Hoewel in het basisontwerp weinig is veranderd, heeft de LBVS toch al een evolutie doorgemaakt in de afgelopen jaren. In de eerste plaats puur uit noodzaak en te wijten aan de beschikbaarheid van drivers die niet meer leverbaar waren. Recentelijk omdat er een stel veelbelovende en betaalbare drivers op de markt kwamen die prima pasten binnen het LVBS ontwerp.

Uiteraard zijn de drivers voor dit ontwerp geselecteerd op een uitstekende prijs/prestatie verhouding. In het originele LBVS ontwerp was de driver bezetting de HiVi-Research X1 voor het hoog en de Peerless SDS-164-THP voor het midlaag. Mede omdat de HiVi tweeter niet meer leverbaar was, maar ook vanwege z'n uitzonderlijke kwaliteit, volgde al snel een tweede versie van de LBVS, waar de Seas 27TFF tweeter werd ingezet voor het hoog. Toen eerder dit jaar CSS de EL166 midwoofer en ERT26 tweeter presenteerde, twee drivers



Figuur 1. De maten van de kast voor de LVBS.

die zeer goed combineren, was al snel de derde versie geboren. Beide drivers, ontwikkeld door Markaudio, voldoen namelijk meer dan uitstekend in het LBVS ontwerp en concept.

De kast

De kast van de LBVS lijkt in eerste instantie een gewone basreflex kast, maar dan met de poort aan de onderkant. Door de plaatsing van de poort gedraagt de kast zich echter niet helemaal als een normale bassreflex kast. Doordat over de lengte van de kast een staande golf optreedt, en deze mede bijdraagt aan de afstemming van de poort, is het een speciale versie van een transmissielijn. Dit concept staat bekend als de mass loaded transmission line, oftewel ML-TL. Hoewel er een grote uiterlijke overeenkomst is met een basreflex, heeft M.J. King duidelijk aangetoond dat de ML-TL een echte transmissielijn is, en geen BR.

Omdat de poort aan de onderkant van de kast uitkomt, is het van belang dat de afstand tussen de kast en de vloer vrij exact de maat is zoals die in de tekening staat (30 mm), dit omdat de ruimte daartussen optreedt als een deel van de poort. Een verandering heeft dan ook consequenties voor de afstemming. De poort is van het type HP, van het merk Intertechnik. Voor een juiste afstemming kiezen we voor de CSS EL166 woofer de HP50 die we dan 25 mm korter maken; voor de Peerless SDS164THP kiezen we de HP100 die niet ingekort hoeft te worden.

De meeste demping in de kast is Pritex, het bekende open structuur noppenschuim, dat zowel boven in de kast (tegen het deksel, en op de achterwand achter de tweeter en de woofer) is aangebracht, maar ook op de bodem van de kast. Helemaal bovenin de kast (midden in de kast, achter de tweeter) zit ook een hoeveelheid BAF. Op de wanden van de kast kan dik vilt (of ondertapijt) worden aangebracht voor een betere demping van de wanden.

Bouwen

In de bouwtekening is de opbouw van de luidspreker te zien. Het ontwerp is zo opgezet dat de opbouw ook voor de beginnende houtbewerker goed te doen is, het belangrijkste advies is om de kast eerst zonder lijm in elkaar te zetten om te kijken of alle onderdelen passen. Als constructiemateriaal is 18 mm dik MDF gekozen, omdat dit zowel akoestisch als optisch een goed resultaat garandeert en niet te duur is. Voor de opbouw is geen bijzonder gereedschap nodig, lijmklemmen, een boormachine, evt een decoupeer- of figuurzaag, een soldeerbout, en een schroevendraaier volstaan voor de montage. Voor het verzinken van de drivers is een bovenfrees met eventueel een mal aan te bevelen.

De afwerking van de kast kan uiteraard compleet naar eigen smaak en portemonnee gebeuren. De afwerking die Edo voor het origineel gebruikte wordt hieronder beschreven en is zeker het overwegen waard. Op het eerste gezicht lijkt dit namelijk een mooie houtsoort, fineer misschien? Het is echter gewoon MDF met een bijzondere laklaag.

Als eerste stap brengen we een dunne, 4 mm, extra laag MDF op de voor en eventueel achterkant van de kast aan. Dit bedekt dan mooi de kopse kanten van het MDF zodat deze niet meer zichtbaar zijn en/of op termijn kunnen gaan werken. Door deze 4mm laag af te ronden, bijvoorbeeld met de bovenfrees, maar schuren kan natuurlijk ook, zorgen we ervoor dat de overblijvende naad niet meer zal opvallen.



Foto 1. Het effect van de afwerking met afwisselende blanke en donkere lak.

Vervolgens komt de 'truc' met de lak. Als eerste wordt er een laag lak in een lichte kleur aangebracht op het MDF. Dit doen we met een gewone vlakke kwast met niet te fijne haren: hierdoor ontstaan al wat lichte nerven. Vervolgens gaat we er met een donkere kleur overheen, en halen we de houtkam (of een harde kwast) er overheen om zo een nerfstructuur te creëren. Het beste is om dit eerst wat te oefenen op een reststukje van het MDF, zodat we wat kunnen experimenteren totdat het resultaat helemaal zoals gewenst is.

Het wisselfilter

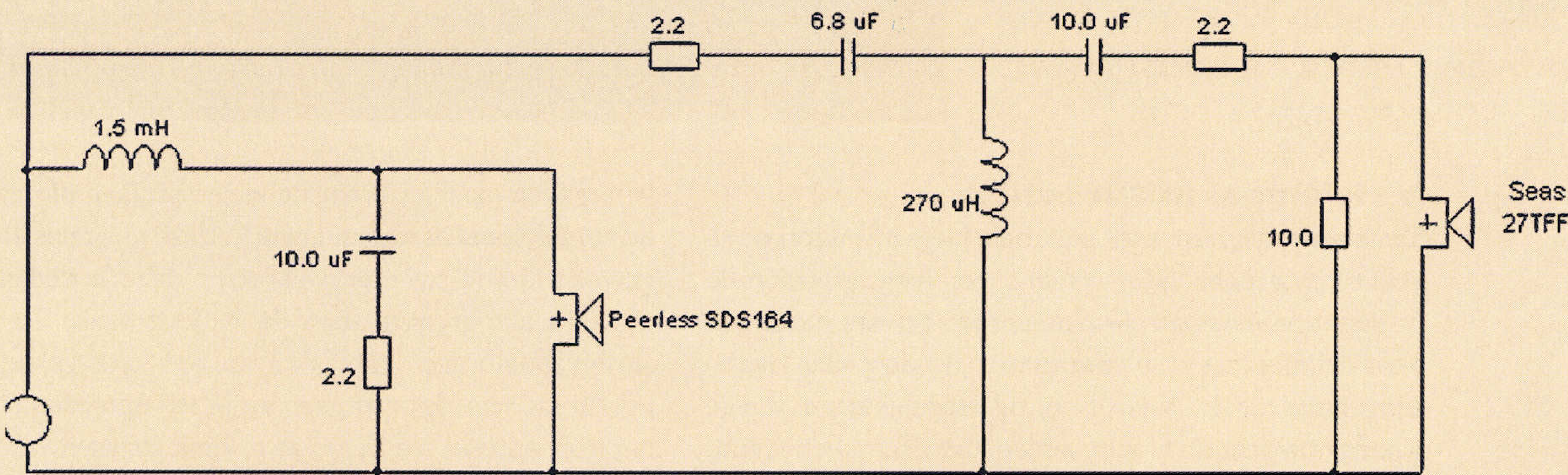
Over het algemeen wordt er bij het ontwerpen van een luidspreker systeem naar gestreefd om de frequentiecurve zo vlak mogelijk te krijgen. Mede door het brede inzetbereik van beide drivers is dat hier uitstekend gelukt, zoals in de meetcurve goed te zien is: tussen 200 Hz en 20kHz is de response binnen een paar dB vlak.

Het hier gepresenteerde filter is voor de Peerless/Seas versie. De keuze voor de overname frequentie tussen de midbas en de tweeter is net iets boven de 2 kHz. Er is voor gekozen om relatief steil te filteren, 3e orde elektrisch voor de tweeter en 2e orde elektrisch voor de midwoofer. Deze filtering heeft er voor gezorgd dat het overname bereik waarin beide drivers aan het geluid bijdragen smal is, waardoor de fasecoherentie van het systeem geoptimaliseerd wordt. Door de waarden van de weerstanden van het 'L-pad' van de tweeter wat aan te passen, kan de hoogweergave worden afgestemd op de persoonlijke smaak en de luisterruimte. Een relatief kleine verandering kan hier al een duidelijk hoorbaar effect hebben.

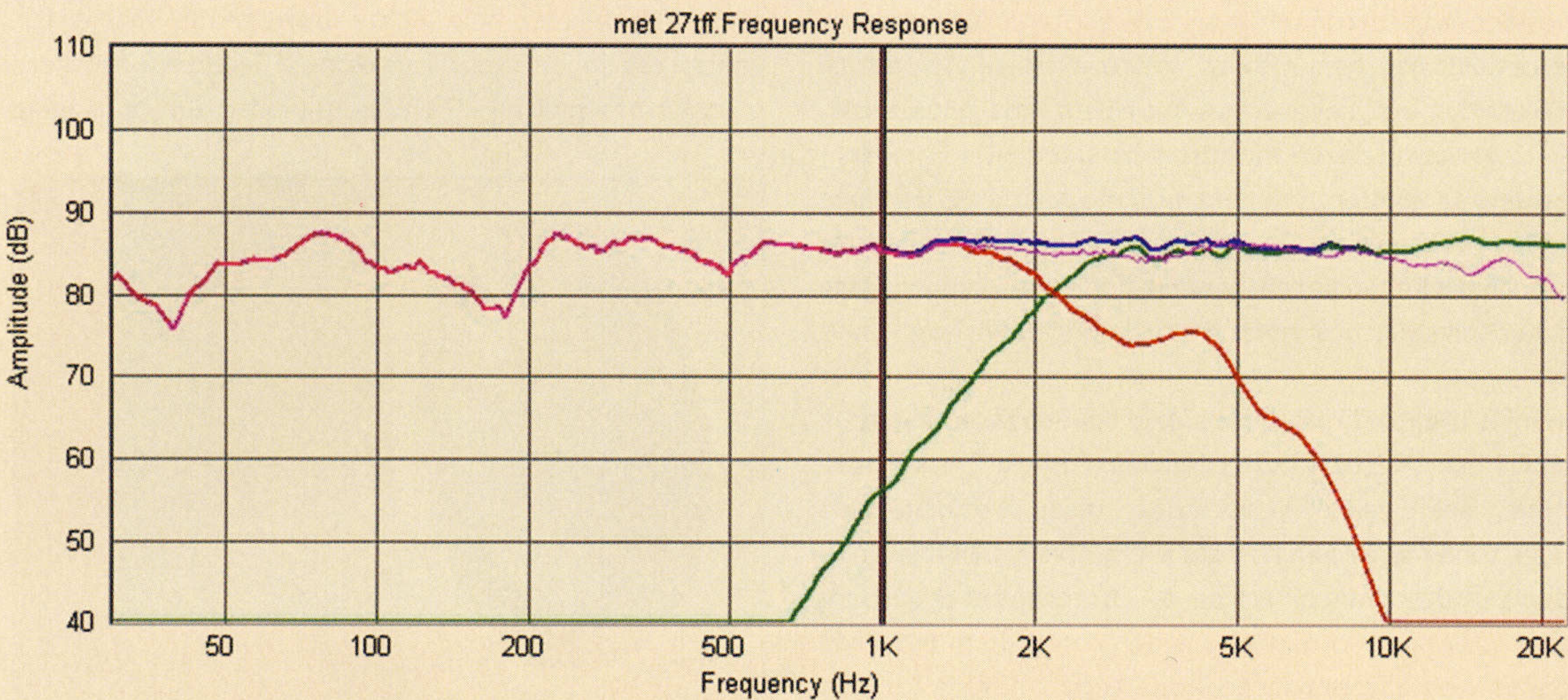
Conclusie

Een ieder die deze luidspreker heeft mogen beluisteren zal het er over eens zijn: een goede luidspreker hoeft niet duur te zijn. Met dit ontwerp heeft Edo van der Laarse een duidelijk statement in de budget klasse neergezet waar vele zelfbouwers die ons voorgingen al plezier aan beleven. Gezien het enthousiasme van de vele tevreden zelfbouwers over deze luidspreker zullen er ongetwijfeld nog vele zelfbouwers volgen die met veel plezier en voldoening luisteren naar hun zelf gebouwde LBVS luidsprekers.

Naam:	LBVS
Principe:	Tweeweg mass-loaded transmissielijn
Ontwerp:	Edo van der Laarse
Meer info:	http://forum.zelfbouwaudio.nl
Drivers:	Peerless SDS164THP, Seas 27TFF of CSS EL166, CSS ERT26
Filter:	Parallel filter, 2e orde LP, 3e orde HP
Afmetingen:	948 x 185 x 250 mm (hxbxd)
Prijs:	Circa €100,- per stuk (compleet)



Figuur 2. **Het wisselfilter van de LVBS.**



Figuur 3. **De frequentie response van de LVBS.**

Solo 201

Er is maar één weg!

DOOR TONY GEE

In het leven moet je af en toe terug naar de basis, weg van alle ingewikkelde dagelijkse rompslomp, even rust nemen en een soort reality check doen. Om er daarna weer met frisse moed tegenaan te gaan. Bij de luidsprekerbouw is dat niet anders. Het ontwerpen, bouwen en filteren van grote complexe luidsprekers is leuk, maar soms wil de mens eens even iets heel anders dan de gebruikelijke weg. Kortom, hoog tijd voor een één-weg luidspreker.

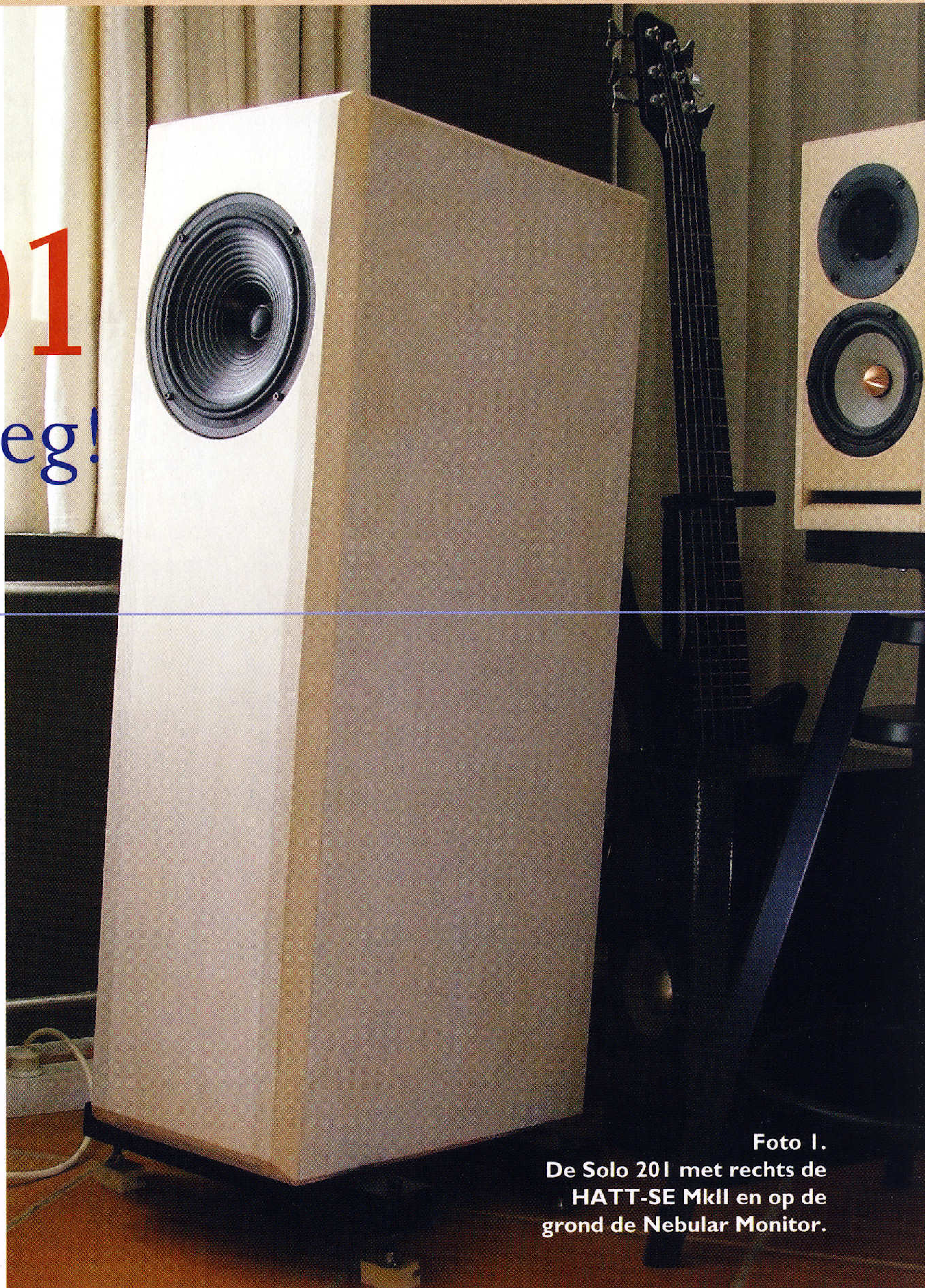


Foto 1.
De Solo 201 met rechts de HATT-SE MkII en op de grond de Nebular Monitor.

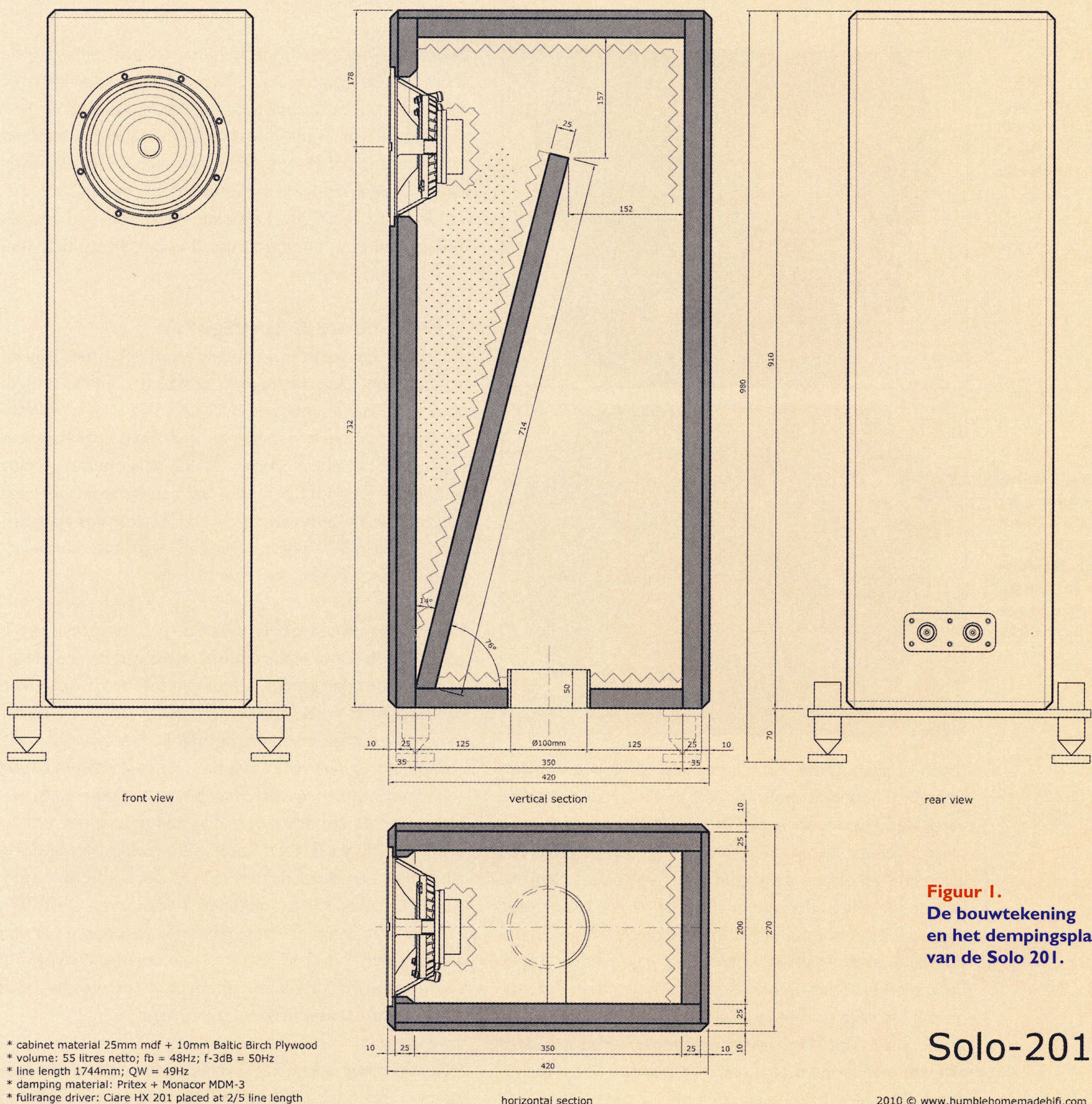
Helemaal in z'n eentje

Een één-weg luidspreker stelt hele hoge eisen aan de te gebruiken breedbander. Waar meer-weg systemen de frequenties verdelen over meerdere drivers moet een breedbander het hele spectrum van hoog naar laag in zijn eentje doen. Knap lastig als tegelijkertijd van je gevraagd wordt de kracht van een basdrum en het subtiele van de ruimtelijke informatie weer te geven. De breedbander dient voldoende conusoppervlakte te hebben om een beetje rendement te hebben en voldoende laag te kunnen gaan. Een grote conus heeft als voordeel dat het minder grote uitslagen hoeft te maken dan een kleine conus voor eenzelfde geluidsdruk. Al te grote uitslagen moet je vermijden wil je het delicate hoog zonder al te veel intermodulatie vervorming willen weergeven. Ook moet de breedbander weinig mechanische verliezen hebben zodat het ook op lage geluidsniveau's nog gedetailleerd en evenwichtig klinkt.

In mijn zoektocht voor de ideale breedbander kwam ik uit bij de HX 201 van het Italiaanse merk Ciare. Deze driver heeft geen "wizzer-cone" maar produceert de hoge tonen door een kleine 25 mm dome die in het midden van de conus direct op de spreekspoel is gemonteerd. Bij hoge frequenties is de grote 20 cm papieren conus te traag om zulke hoge tonen nog te kunnen weergeven maar doordat de kleine stofkap direct met de spreekspoel is verlijmd, werkt deze enigszins als een gewone dome-tweeter waardoor deze breedbander ondanks zijn grootte toch de 20 kHz haalt. Zo is de spreekspoeldrager gemaakt van een niet geleidende polyamide waardoor er geen verliezen optreden binnen het magneetveld. Verder is de rolrand gemaakt van lichtgewicht gecoat katoen en is de achterste ophanging van een zeer fijn soort stof dat mij doet denken aan die van de exotisch dure Seas Exotic breedbander. Dit alles bij elkaar heeft een hele lichte bewegende massa tot gevolg die je eerder bij gewone 15 cm hifi woofers tegenkomt - niet bij 20 cm exemplaren. De ophanging



Foto 2.
De Ciare HX 201.



Figuur 1.
De bouwtekening en het dempingsplan van de Solo 201.

is heel meegaand waardoor er ondanks de kleine bewegende massa, toch een acceptabele laagweergave is te verwachten. Bovendien is de Ciare HX 201 met zijn resonantie frequentie Fs van 43 Hz en een Qts van 0,34 niet gedoemd om alleen met een enorme hoorn te moeten werken om nog wat geluidsdruk te kunnen produceren.

Efficiënte behuizing

Deze mooie driver verdient uiteraard een mooie behuizing die niet te groot is maar toch efficiënt omgaat met de lage tonen energie. Een ideale oplossing hiervoor is een zogenaamde "Mass-loaded Tapered Quarter Wavelength Tube" of te wel een ML-TQWT. Een hele mond vol voor een vrij simpel en efficiënt werkende behuizing. In principe gaat het om een omgekeerde transmissie-lijn behuizing waarbij dus de doorsnede van de lijn naar het eind toe toeneemt in plaats van afneemt. De lengte van de lijn is circa 175 cm wat overeenkomt met een kwart golflengte van 49 Hz. In dit geval is de breedbander geplaatst op twee-vijfde van de lengte van de lijn om staande golven te verminderen. De lijn eindigt met een op 48 Hz afgestemde poort precies in het midden van de bodem. Je zou het dus ook als een soort hybride basreflexkast-systeem kunnen zien waarbij de kast een netto inhoud heeft van 55 liter. De poort heeft een inwendige doorsnede van 100 mm en een lengte van 50 mm.

De behuizing is zeer degelijk gebouwd, ondanks dat het schuine tussenschot al voor aardig wat versteviging zorgt, zijn de wanden uitgevoerd in een sandwich constructie met een totale dikte van 35 mm. Deze wanden zijn samengesteld uit een binnenzijde van 25 mm dik MDF en een buitenkant van 10 mm berkenmultiplex van professionele kwaliteit. Samen vormen deze twee met elkaar verlijmde lagen een zeer stijf en zwaar geheel – een set luidsprekers weegt circa tachtig kilo op de weegschaal. Verder is de binnenzijde van de opening voor de woofer rondom voorzien van een afschuining om ongewenste reflecties aan de achterzijde van de conus

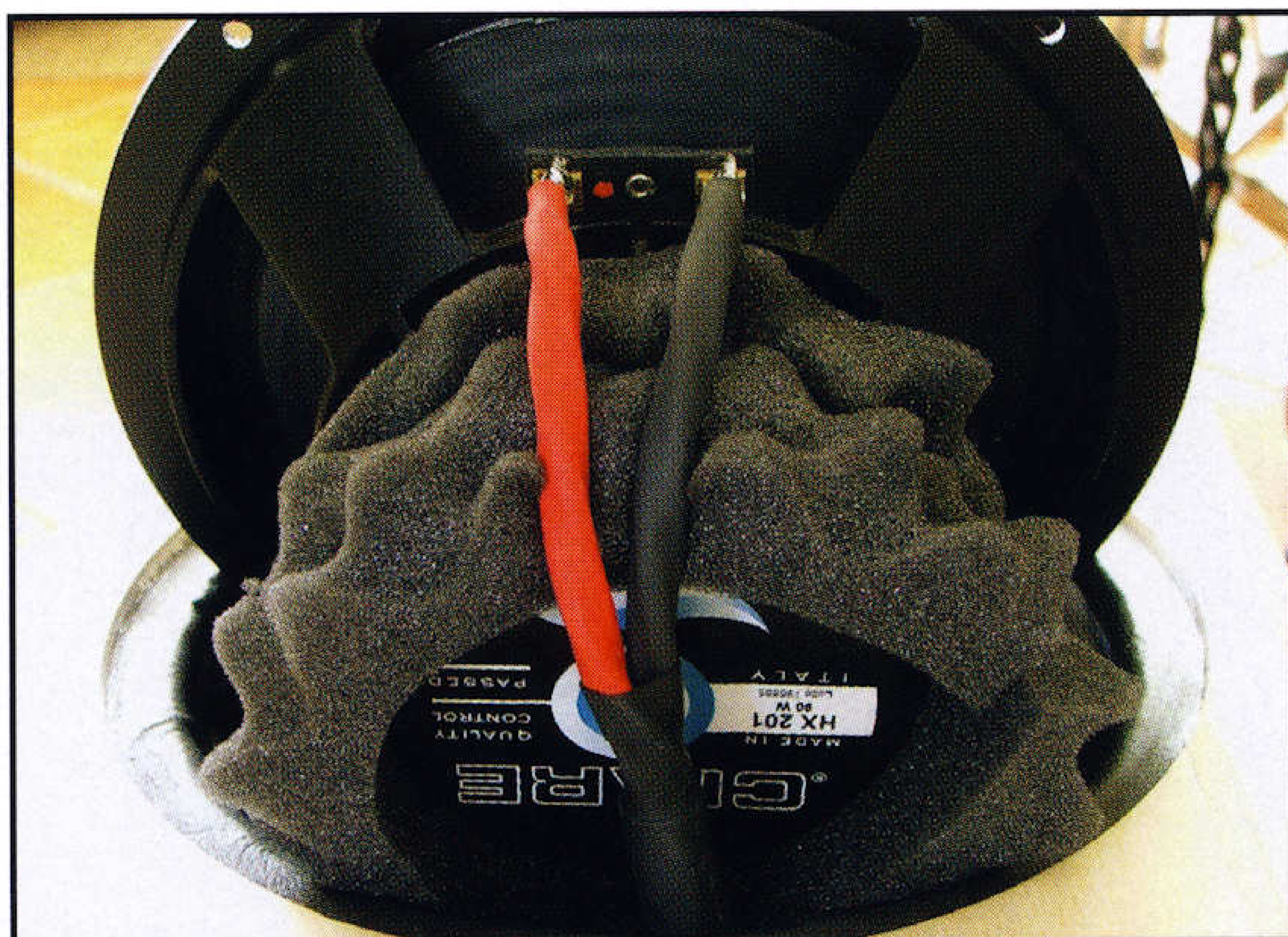


Foto 3.
Ook de magneet van de Ciare wordt met noppenschuim bekleedt.



Foto 4.
Een deel van het dempingsplan gezien door de opening van de breedbander. De dempingswatten zijn hier nog niet aangebracht.

tegen te gaan. Deze afschuining kan het beste worden aangebracht als de kast nog niet in elkaar zit. Langs de verticale ribben aan weerszijden van de breedbander zijn massief eiken latten aangebracht die vervolgens een afschuining hebben gekregen om het geheel slank te laten ogen. De luidsprekers staan op zogenaamde outriggers met in hoogte verstelbare spikes zodat de speakers stabiel staan en er voldoende vrije ruimte onder de kasten is zodat de poort naar behoren kan functioneren. De vrije ruimte tussen de onderzijde van de kast en de vloer bedraagt zeven centimeter. Het geheel is afgewerkt met een matte, half transparante, watergedragen White Wash lak. Heel stijlvol!

Het dempingsplan luistert nogal nauw aangezien het gaat om het vinden van de juiste balans tussen voldoende staande golven absorberen zonder dat de dynamiek, het rendement en het laag er onder lijden. Om te beginnen wordt de magneet van de Ciare HX 201 gewikkeld in een strook Intertechnik Tyrotex-30. Dit gaat het beste als eerst een strook tweezijdig plakband op de magneet wordt aangebracht, vervolgens het Tyrotex en dan als laatste een lange tie-rap om de boel bij elkaar te houden. Het doel van het bekleden van de magneet is het tegengaan van reflecties op dit harde voorwerp dat zich direct achter de conus bevindt. Tevens is de neodymium magneet afgeschermd door een metalen pot die de neiging heeft te gaan resoneren als hij niet wordt gedempt.

Intertechnik Tyrotex-30 wordt ook geplakt op de hele voorzijde van het tussenschot, tegen de binnenzijde van de bovenzijde van de kast en een deel van de achterwand. Tevens wordt de gehele bodem ermee bekleedt met in het midden een sparing voor de poort. Als laatste wordt de eerste helft van de lijn losjes gevuld met Monacor MDM-3 dempingswatten. Wat de interne bekabeling betreft kun je je hier helemaal uitleven, de Ciare HX 201 laat de verschillen duidelijk horen! Je hebt per kast maar anderhalve meter nodig dus doe 'ns gek! Wij gebruikten Audioquest Indigo Blue Hyperlitz, een twaalf-aderige solid-core kabel gemaakt van zeer zuiver koper. Tegenwoordig heel voordelig op de tweedehands markt te krijgen. Deze kabel staat bekend om zijn fijne detaillering en goede dynamische eigenschappen.

Niet te veel corrigeren

Zonder enige vorm van correctie kan een breedbander niet werken. Ook die hebben, eenmaal in een kast ingebouwd, te maken met zaken als de baffle-step en diffractie die het gebruik van één of meerdere correctienetwerken noodzakelijk maakt. De kunst is om net genoeg te corrigeren zodat een neutraal geluidsbeeld ontstaat zonder dat al het leven uit de luidspreker wordt gezogen. De Solo 201 heeft uiteindelijk een tweetal corrigerende netwerken gekregen.

De combinatie L1+C1+R1 heeft de grootste werking en zorgt dat de continu stijgende tendens van de breedbander horizontaler wordt getrokken. Doordat deze drie componenten in de directe signaalweg van de Ciare zitten is de kwaliteit ervan erg belangrijk. Het zijn maar drie componenten dus veel hoeft het niet te kosten maar wij adviseren wel een koperfoliespoel te nemen en iets lekkers voor de condensator. Zijn invloed op het uiteindelijke resultaat is zeer hoog. Wie makkelijk wil doen stopt hier een Jantzen Audio Silver Z-Cap, Intertechnik Audyn Cap True Silver of een Mundorf Silver-Oil in. Wij hebben wat geëxperimenteerd met meerdere parallel geschakelde NOS Russische papier-in-olie types in combinatie met Styroflex als bypass tot we de juiste "smaak" te pakken kregen (zie foto).

Het netwerkje L2+C2+R2 dat parallel over de breedbander zit, haalt vervolgens nog wat overgebleven scherpte in het hoog weg. De kwaliteit van deze drie onderdelen is minder kritisch, maar gezien de kleine waardes is het aan te bevelen hier ook een nette kwaliteit te nemen zoals een 16AWG koperfoliespoel, een MKP condensator en een metaaloxide weerstand.

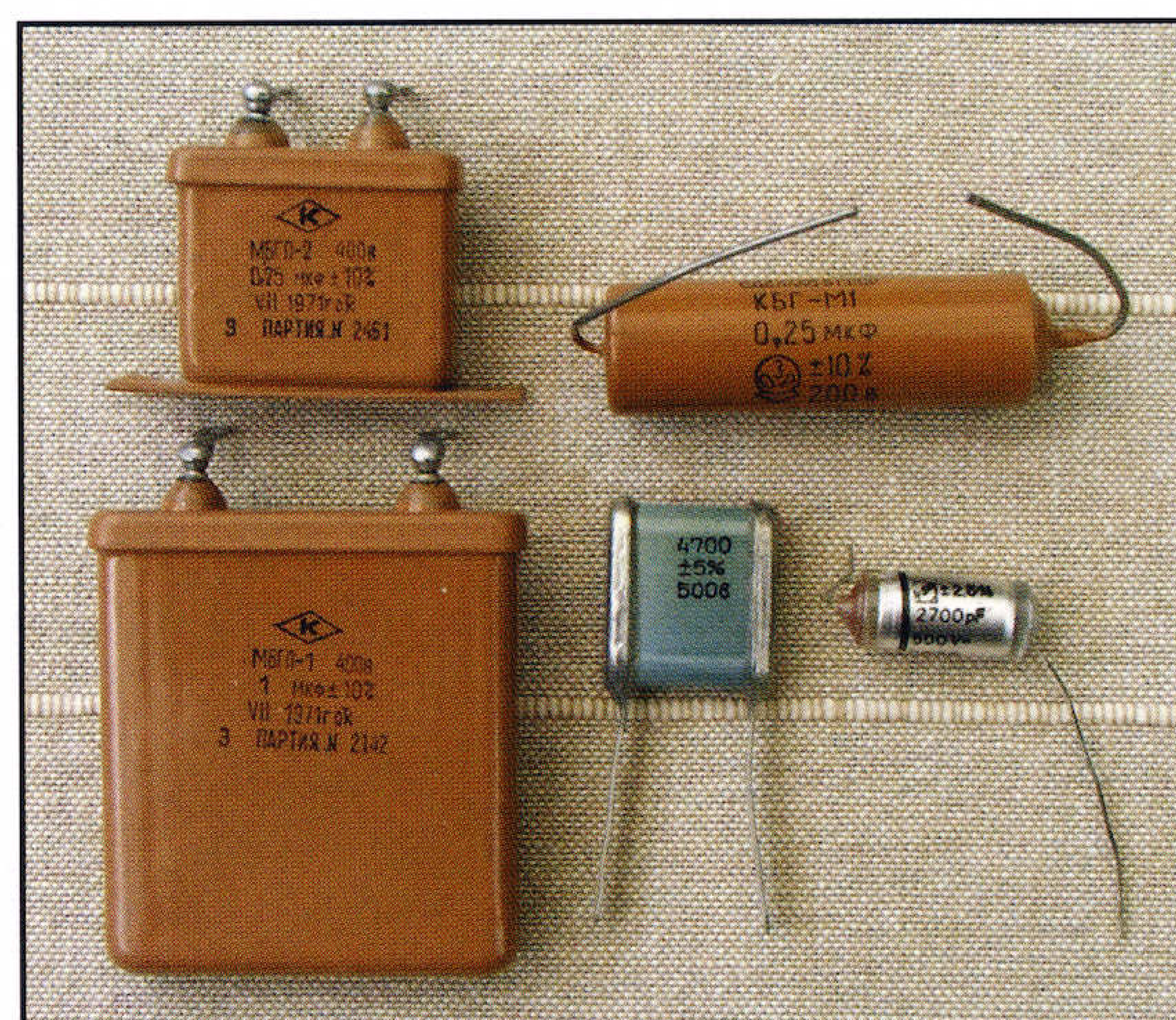
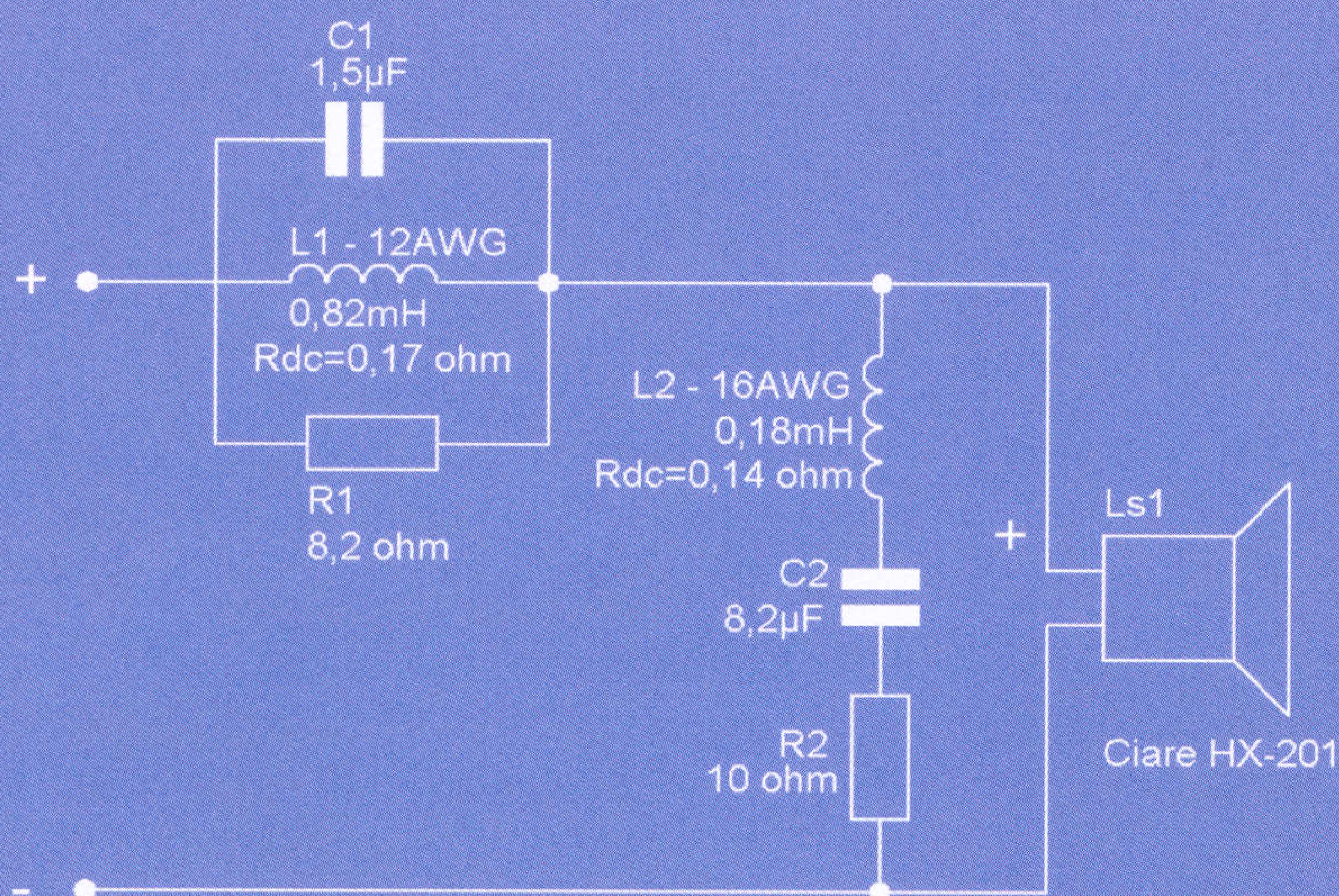


Foto 5.
Condensator C1 is o.a. samengesteld uit oude papier-in-olie types.



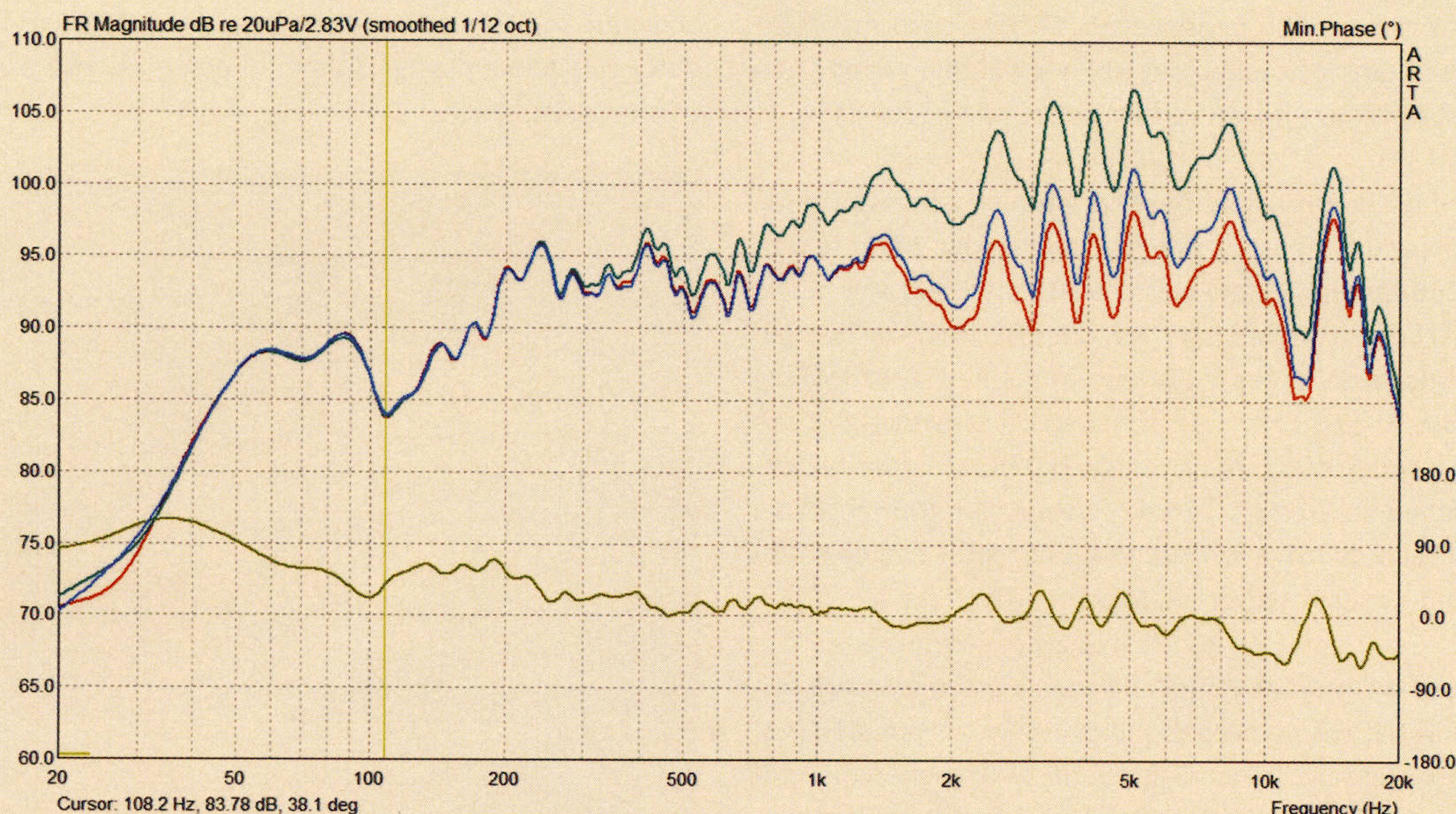
L1 = 0,82 mH koperfoliespoel 12AWG; Rdc = 0,17 ohm
L2 = 0,18 mH koperfoliespoel 16AWG; Rdc = 0,14 ohm
C1 = 1,5 uF naar eigen smaak samen te stellen
C2 = 8,2 uF standaard kwaliteit MKP
R1 = 8,2 ohm / 20 watt Jantzen Audio SuperRes non-inductive (15 ohm + 18 ohm parallel)
R2 = 10 ohm / 10 watt MOX

Figuur 2.
De twee correctienetwerken van de Solo 201.

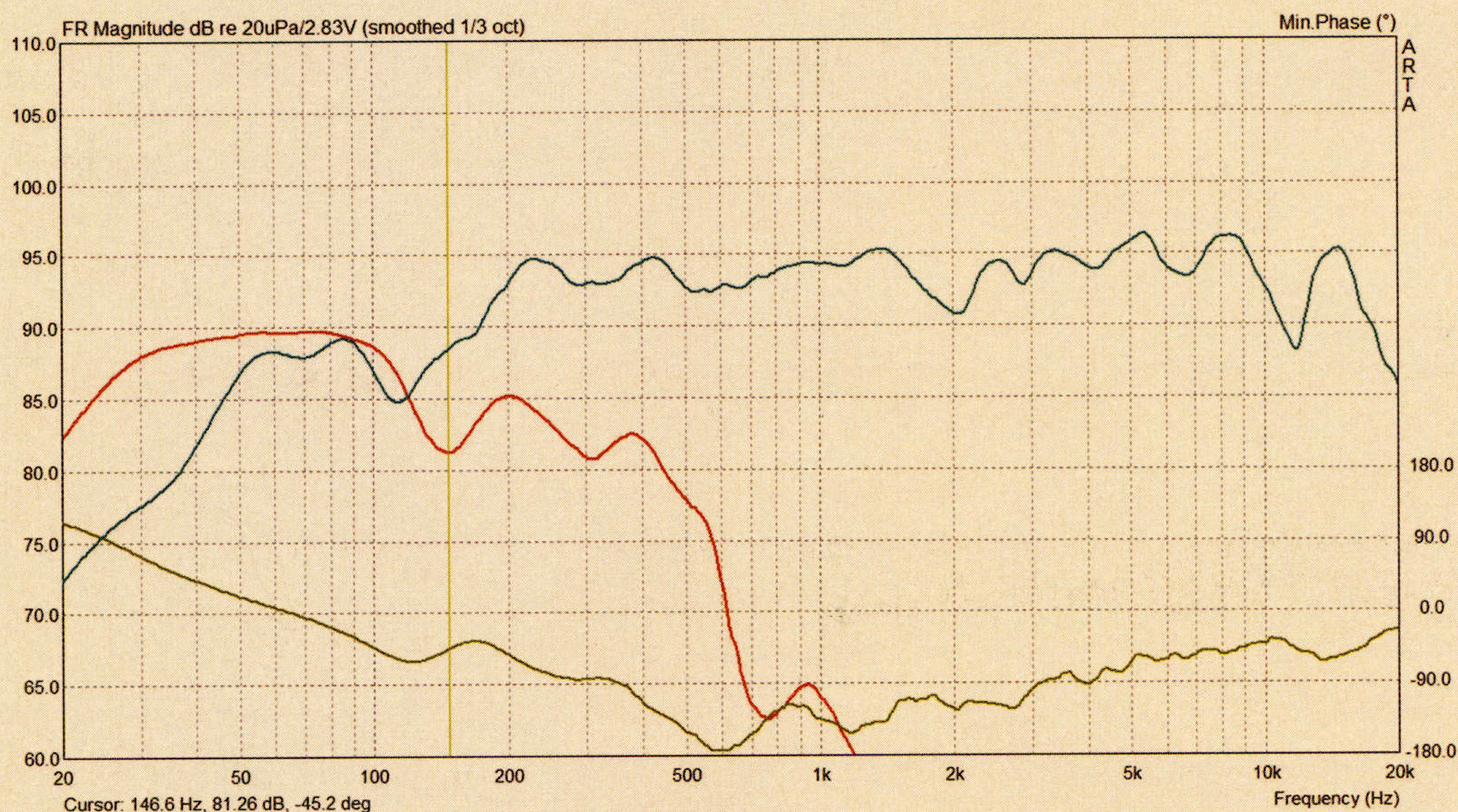
Luisteren en meten

Net als alle luidsprekers heeft ook deze luidspreker, ondanks de weinige componenten, enige tijd nodig om los te komen. Na een aantal weken inspelen gaan we over tot serieus luisteren. De speakers komen het beste tot hun recht als ze met de luisterplek een gelijkzijdige driehoek vormen en zo ver naar binnen zijn gedraaid dat de twee binnenste zijwanden nog net zichtbaar zijn. Verder plaatsten we eiken houten blokjes onder de voorste spikes zodat de kasten circa vijf tot zeven graden achterover hellen. Wat je dan te horen krijgt is in één woord geweldig! Het beeld is groots en ruimtelijk, de individuele instrumenten staan voor het grijpen, de plaatsing is gewoon top. Het hele plaatje staat op een stevig fundament, deze luidspreker klinkt volwassen en zeer coherent. Het middengebied heeft een lekkere bite zonder schreeuwerig te worden en het hoog is heel fijntjes gedetailleerd, niet wat je direct zou verwachten van zo een grote breedbander. De eerlijkheid gebied wel te zeggen dat condensator C1 hier ook veel doet, in de eerste prototypes zat namelijk op deze plek een standaard kwaliteit MKP, het hoog miste toen veel microdetail en transparantie. Dus bespaar niet op C1! Verder blijkt deze luidspreker totaal niet kritisch wat aansturing betreft, we hebben ze zowel met lichte buizenversterkers als met zware transistor eindbakken gevoed en in alle gevallen was er sprake van een synthese. De Solo 201 laat wel duidelijk horen wat er aan zijn klemmen hangt, dus een goedkope transistorbak klinkt dan ook als een goedkope transistorbak maar met een fijne klasse A versterker is het echt genieten, ongeacht of dat een buis of een transistor is.

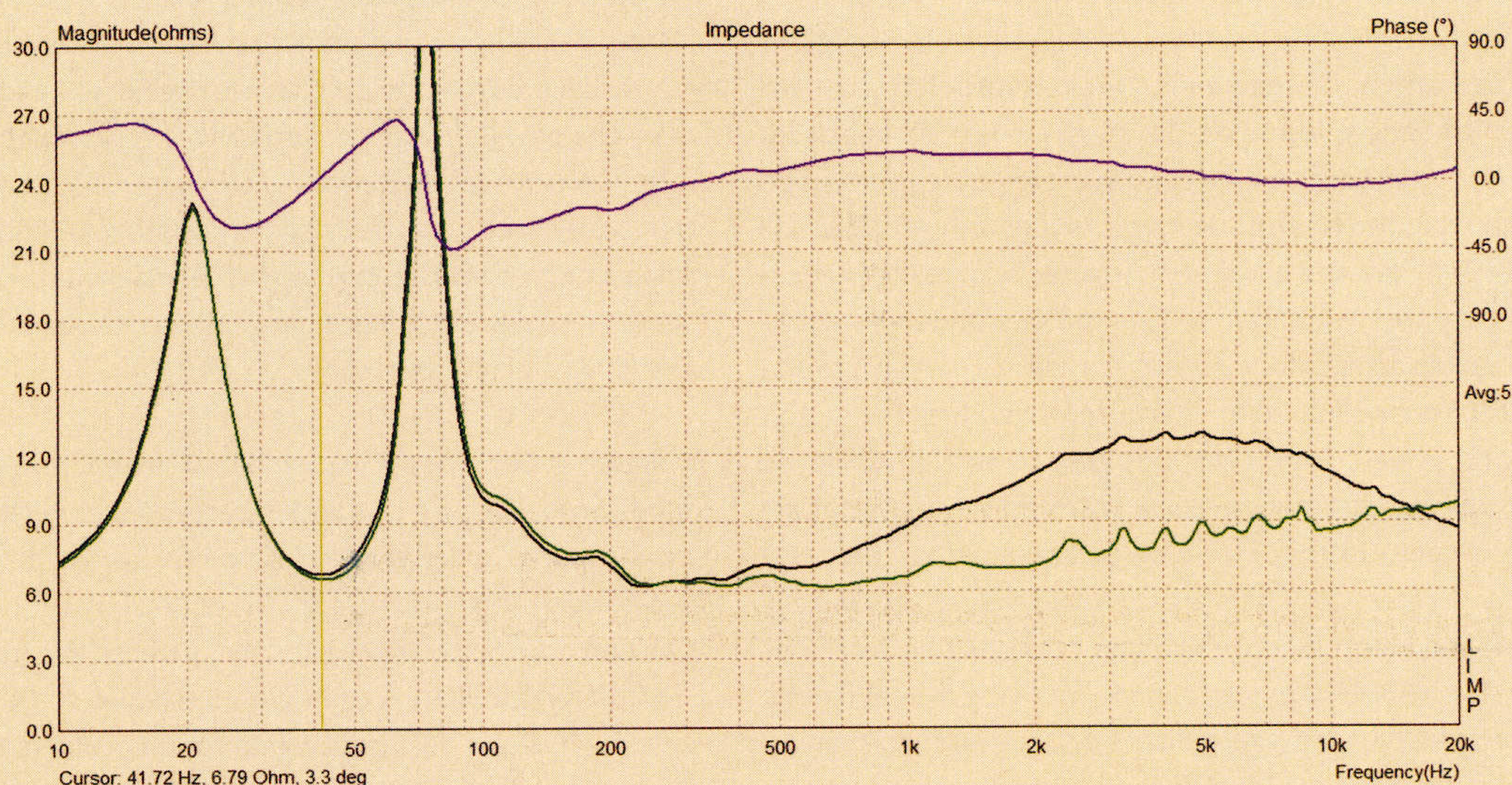
In figuur 3 zien we de verschillende frequentie-curves van de Solo 201 met en zonder correctienetwerken. De groene curve is die van de Ciare HX 201 in de behuizing zonder enige vorm van correctie. Tot circa 8 kHz is er een constante stijging te zien. Voegen we netwerk L1+C1+R1 toe, dan krijgen we de blauwe curve. Condensator C1 laat de allerhoogste tonen praktisch ongehinderd door terwijl L1 (gedempt door R1) het middengebied tempert. De uiteindelijke curve is de rode die verkregen wordt door het toevoegen van netwerk L2+C2+R2. Deze haalt net even wat overdaad aan aan



Figuur 3.
De frequentiecurve met en zonder correctienetwerken.



Figuur 4.
De frequentiecurve met poort.



Figuur 5.
De impedantiecurve's.

energie weg uit het gebied van 2 kHz tot 10 kHz. Het resultaat is een gezond rendement die schommelt tussen de 93dB tot 96dB, je hebt dus niet veel watts nodig om veel herrie to produceren. Omdat deze metingen geen rekening houden met het laag hebben we nog een aparte meting gedaan van de poort (zie figuur 4).

Voor de leesbaarheid hebben we hier wat smoothing toegepast. De output van de breedbander zelf is te zien als een redelijk vlakke curve waarbij het laag van 50 Hz tot 170 Hz circa 5dB lager ligt. Deze sprong wordt opgevuld door de poort (rode curve) die heel breedbandig werkt. Al bij 30 Hz is de poort volop aanwezig en deze loopt netjes door tot boven de 100 Hz alvorens hij rustig afneemt. De som van de twee is niet weergegeven, maar aan de hand van luistersessie's gaat het laag subjectief gezien, behoorlijk diep.

Kijken we naar de impedantiecurve's dan zien we een gedrag dat veel overeenkomsten vertoont met een basreflex-systeem. In het laag zijn de twee pieken herkenbaar met daar tussen de afstemfrequentie van de poort, in dit geval circa 42 Hz. De groene curve is die van de Ciare 201 zonder correctienetwerken, de zwarte curve is met beide correctienetwerken. Alles blijft ruim boven de zes ohm en het elektrisch fase-gedrag vertoont ook geen gekke dingen. Al met al een makkelijk aan te sturen luidspreker.

Naam:	Solo 201
Principe:	éénweg ML-TQWT systeem
Ontwerp:	Humble Homemade Hifi, Tony Gee
Website:	http://www.humblehomemadehifi.com
Breedbander:	Ciare HX 201
Scheidingsfilter:	geen, alleen een tweetal correctienetwerken
Afmetingen:	910 x 270 x 420mm (hxbxd) zonder voet
Netto inhoud:	55 liter
Belastbaarheid:	45 Watt
Prijs bouwkit:	€ 290,- per stuk (alle onderdelen behalve de kast)

UL40-S2 buizenversterker bouwpakket

Designed by

Vanderveen



UL40S2

Bouw uw eigen HIGH-END buizenversterker zelf.
Dit complete bouwpakket wordt geleverd met een uitgebreide STAP-VOOR-STAP-bouwhandleiding, zodat het samenbouwen éénvoudig wordt en daarmee voor iedereen haalbaar. Leen ons DEMO-exemplaar kostenloos en ervaar de kwaliteit van deze TOP-KLASSE buizenversterker. Kijk voor meer info op www.amplimo.nl



UL40S2P

De UL40S2 is ook leverbaar als eindversterker. Deze kan met elke voorversterker worden aangestuurd. De versterker kan evenals de UL40S2 in ultra-lineaire en in triode-instelling worden opgebouwd.
Als eindbuis kan net als bij de UL40S2 worden gekozen voor EL34, 6550 of KT88.

Het Vanderveen MCML05 voorversterker bouwpakket.
Deze HIGH-END buizen-voorversterker heeft een hoofdtelefoonaansluiting, balansregeling en is voorzien van een MC en MM voortrap voor platenspelers. Een DEMO-exemplaar is beschikbaar als u deze buizen voorverstereker wilt proberen bij u thuis



MCML05

Amplimo levert een zeer grote reeks ringkerntransformatoren direkt uit voorraad. Ook voedings- en uitgangstrafo's voor buizenversterkers, electronenbuizen, buisvoeten, Jensen audio-condensatoren, enz, enz



Industrieweg 14
7161 BX NEEDE

Tel.: 0545-283456
Fax.:0545-283457

email: info@amplimo.nl
internet: www.amplimo.nl